Für die Vollständigkeit und Richtigkeit der einzelnen Inhalte der Vorlesung 61-020 „Einführung in die Pflanzenphysiologie“ kann keine Gewähr übernommen werden.

Es ist nicht gestattet, diese Vorlesung oder Teile dieser Vorlesung ohne ausdrückliche Genehmigung der Dozentinnen und Dozenten für die Wiedergabe im Druck, Vorträge oder eine andere Art der Veröffentlichung, auch nicht im Internet, zu verwenden. Für Teile der Abbildungen liegen die Rechte bei Buchverlagen, wissenschaftlichen Zeitschriften oder bei den Dozentinnen und Dozenten dieser Veranstaltung.

Hamburg, 24.10. 2022 Prof. Stefan Hoth

Geplanter Ablauf der Vorlesung

17. Oktober 2022	Wasserhaushalt
24. Oktober 2022	Mineralstoffernährung
7. November 2022	Mineralstoffernährung/ Bodenkunde
14. November 2022	Photosynthese
21. November 2022	Photosynthese
28. November 2022	Photosynthese
5. Dezember 2022	Photosynthese
12. Dezember 2022	Photosynthese
19. Dezember 2022	Pflanzenhormone
9. Januar 2023	Pflanzenhormone
16. Januar 2023	Pflanzenhormone
23. Januar 2023	Photosynthese/ Licht als Entwicklungsstimulus
30. Januar 2023	Licht als Entwicklungsstimulus

Wassertransport in der Pflanze

Luft (<50%): -100 MPa
Luft (>90%): -10 MPa

Transpiration

Blätter: -0,5 bis -2,5 MPa

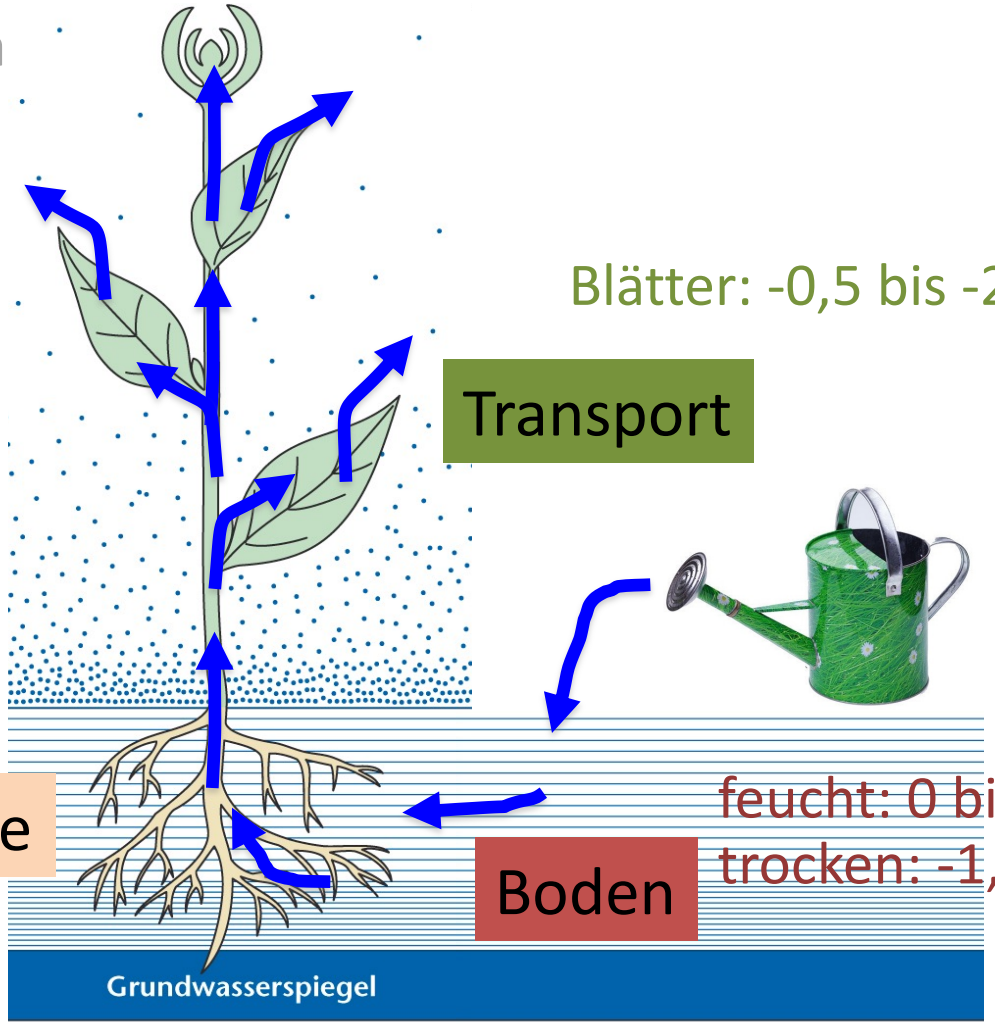
Transport

Wurzel:
-0,5 bis -2,0 MPa

Aufnahme

feucht: 0 bis -0,4 MPa
trocken: -1,5 bis -2,5 MPa

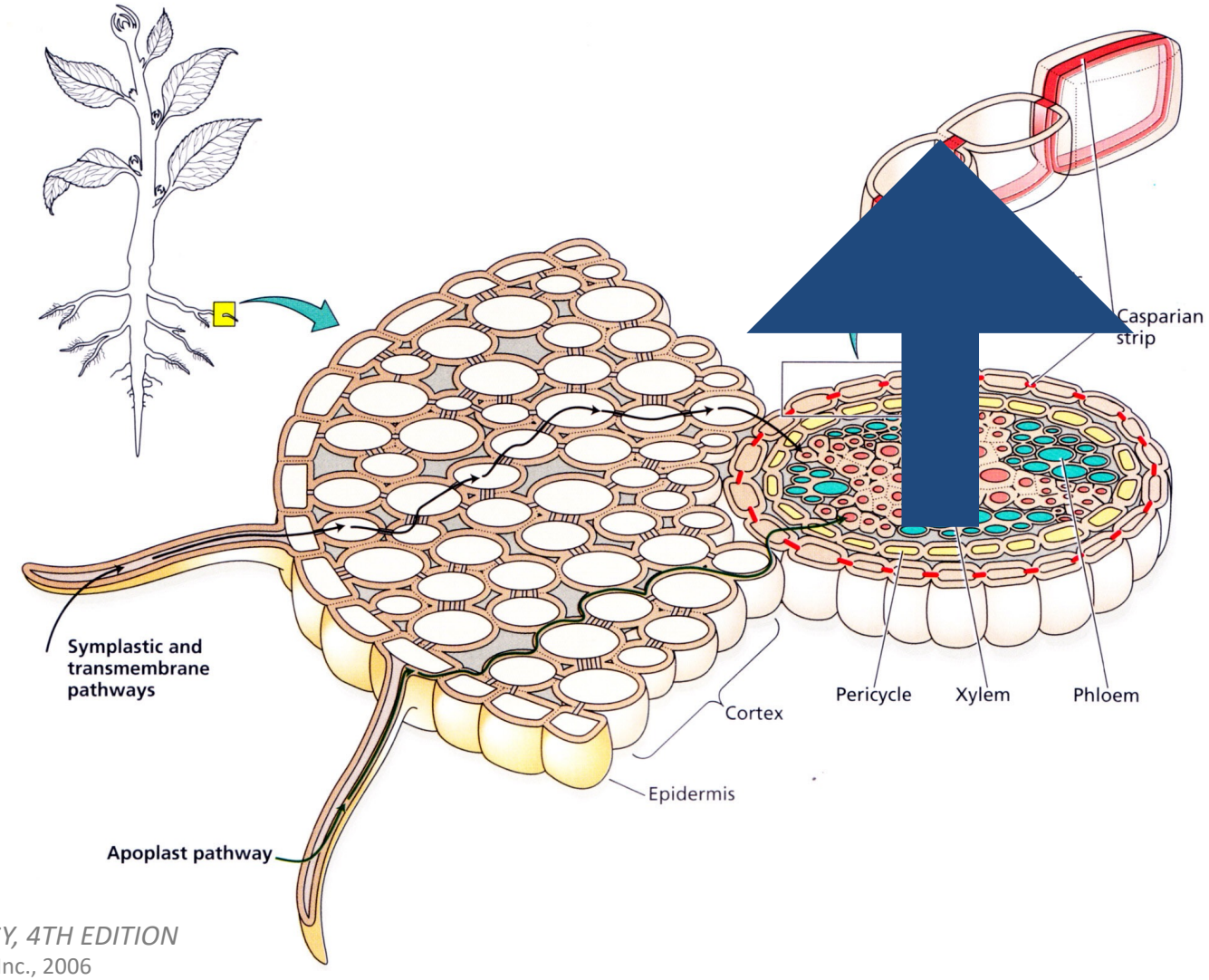
Boden



Aus: Strasburger, *Lehrbuch der Botanik, 36. Aufl.*
© Spektrum Akademischer Verlag GmbH 2008

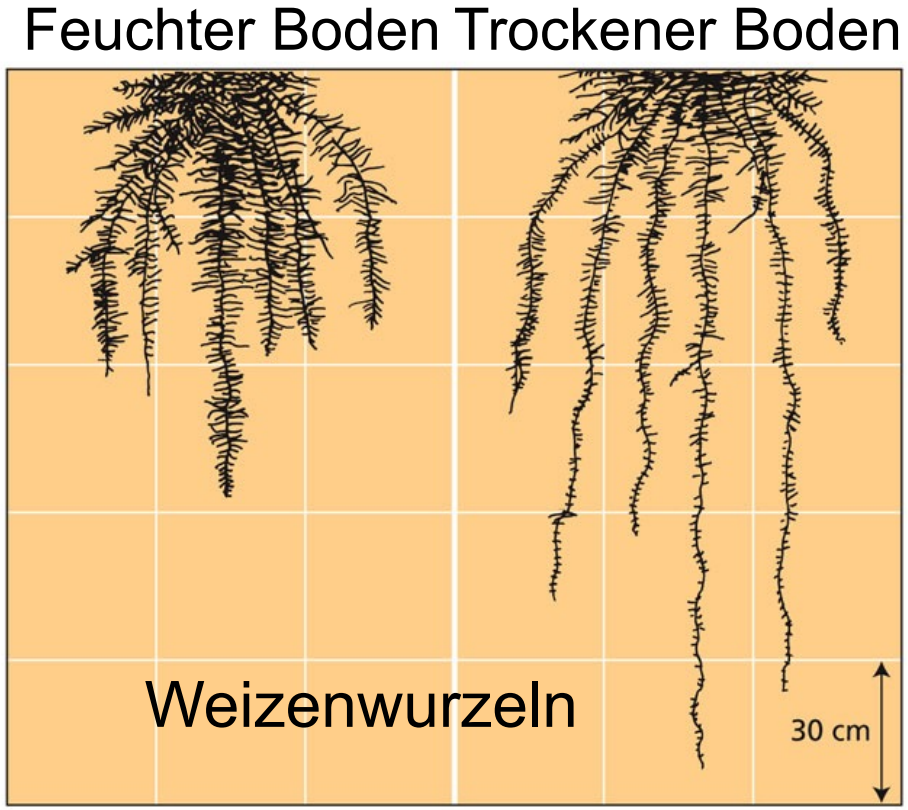
Ψ_{H_2O}

Radialer Wassertransport im Wurzelgewebe



Aus: TAIZ, ZEIGER
PLANT PHYSIOLOGY, 4TH EDITION
©Sinauer Associates, Inc., 2006

Mineralstoffernährung in Pflanzen

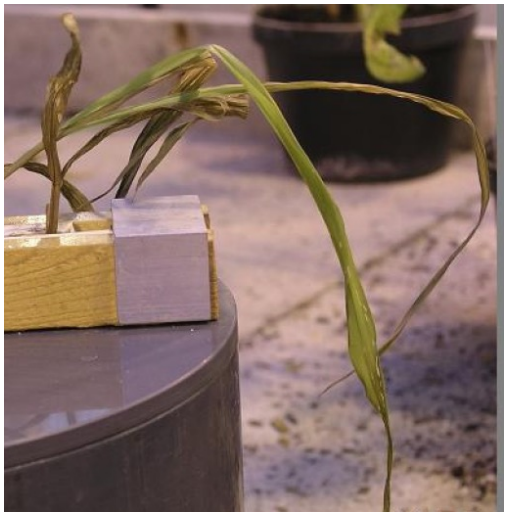


PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 5.6 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

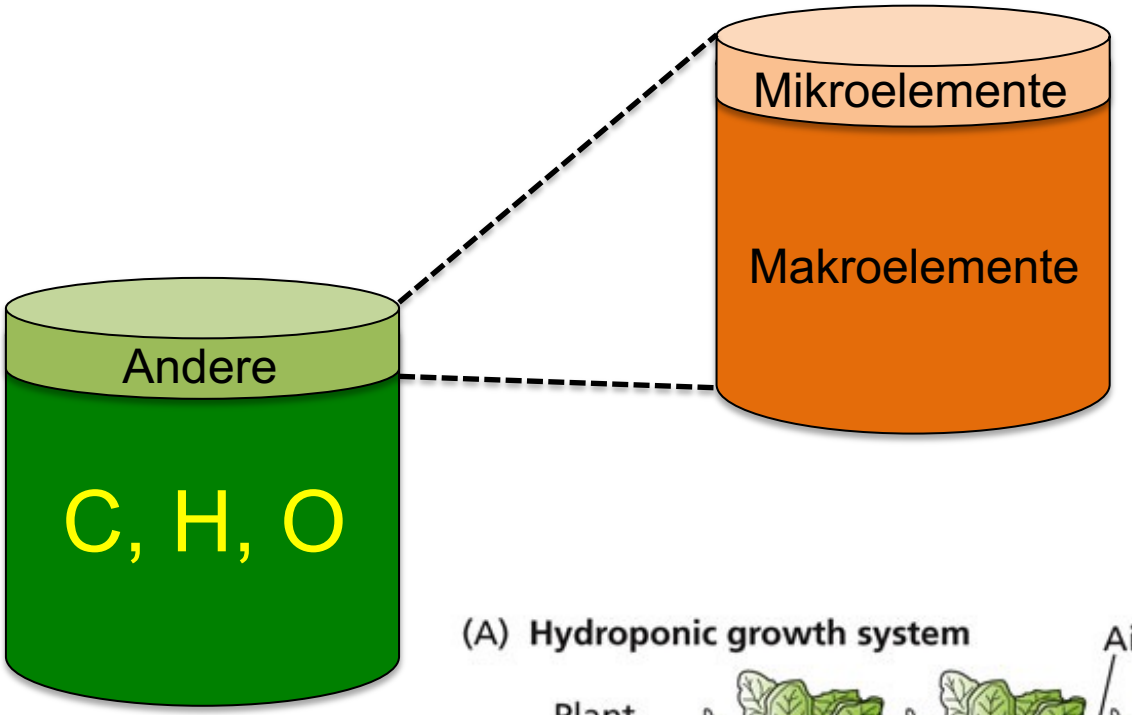
- Aufnahme wichtiger Elemente in Form anorganischer Ionen
- Eintrittspforte für diese Elemente in die Biosphäre

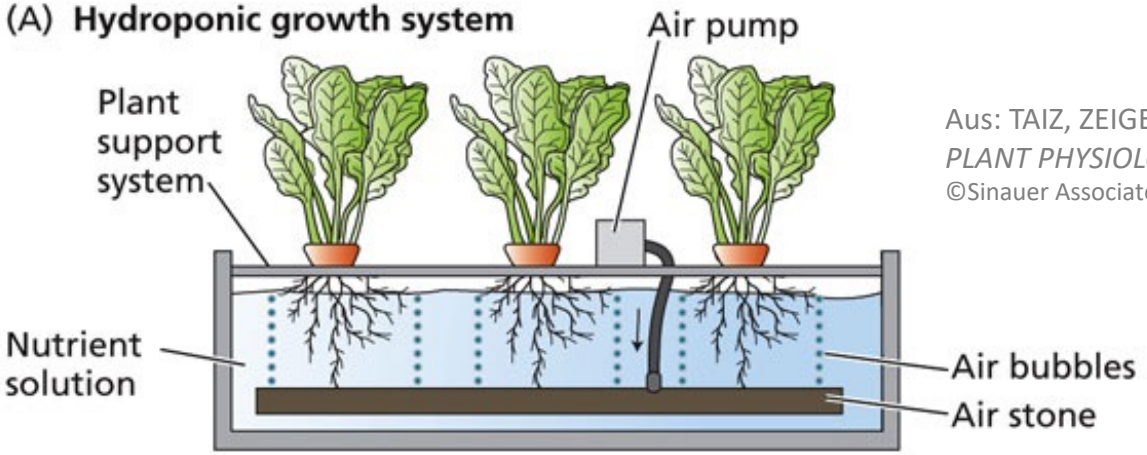
Bedarf/ Symptome bei Mangel/ Düngung/ Bodenstruktur/ Wurzelmorphologie/ Aufnahme

Mangelerscheinungen bei Pflanzen



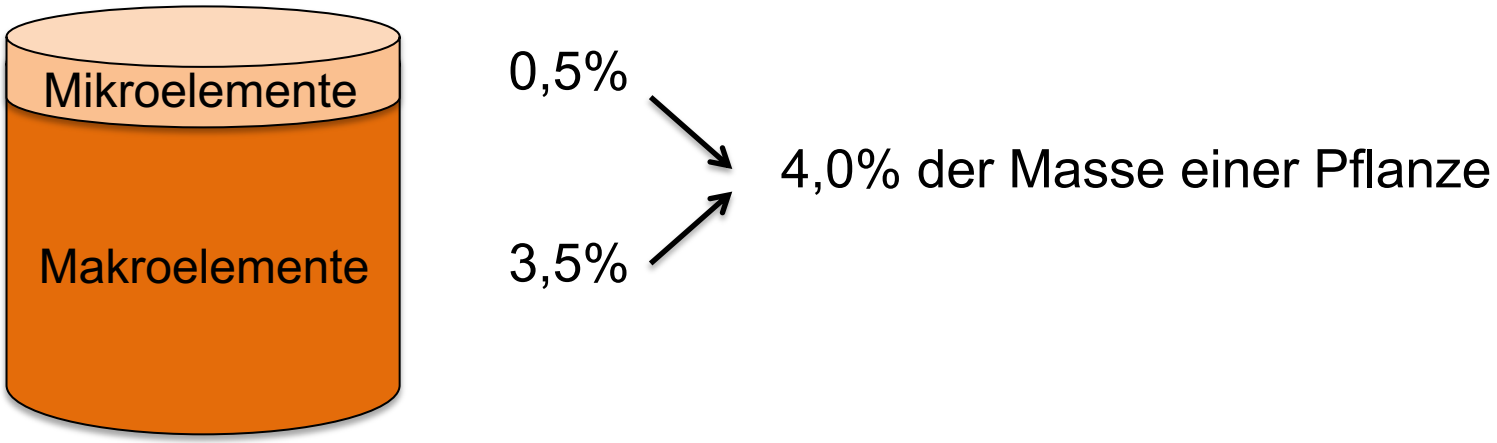
Welche Mineralstoffe brauchen Pflanzen?





Aus: TAIZ, ZEIGER
PLANT PHYSIOLOGY, 4TH EDITION
©Sinauer Associates, Inc., 2006

Welche Mineralstoffe brauchen Pflanzen?



- N, K, Ca, Mg, P, S, (Si)
- Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, (Na), (Ni)

Element	Prozent vom Trockengewicht	Anzahl von Atomen rel. zu Molybdän	Verfügbar über
H	6	60,000,000	H_2O
C	45	35,000,000	CO_2
O	45	30,000,000	O_2, H_2O
N	1,5	1,000,000	NO_3^-, NH_4^+
K	1,0	250,000	K^+
Ca	0,5	125,000	Ca^{2+}
Mg	0,2	80,000	Mg^{2+}
P	0,2	60,000	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}
S	0,1	30,000	SO_4^{2-}
Cl	0,01	3,000	Cl^-
Fe	0,01	2,000	Fe^{2+}, Fe^{3+}
B	0,002	2,000	H_3BO_3
Mn	0,005	1,000	Mn^{2+}
Zn	0,002	300	Zn^{2+}
Cu	0,0006	100	Cu^+,Cu^{2+}
Mo	0,00001	1	MoO_4^{2-}

Einteilung von Mineralstoffen

- Bestandteil strukturgebender Einheiten
  (z.B. C, H, O in Cellulose oder P in Phospholipiden/ Membranen)
- Bestandteil von Metaboliten (z.B. Mg in Chlorophyll oder P in ATP oder Nukleinsäuren)
- Regulation von Enzymen (z.B. Ca und Mg als zweiwertige Ionen)
- Einstellung von osmotischem/ elektrischem Potential (z.B. K)
- Redoxreaktionen (z.B. Fe, Cu)

Mobilität von Mineralelementen

Mineral elements classified on the basis of their mobility within a plant and their tendency to retranslocate during deficiencies

Mobile	Immobile
Nitrogen	Calcium
Potassium	Sulfur
Magnesium	Iron
Phosphorus	Boron
Chlorine	Copper
Sodium	
Zinc	
Molybdenum	

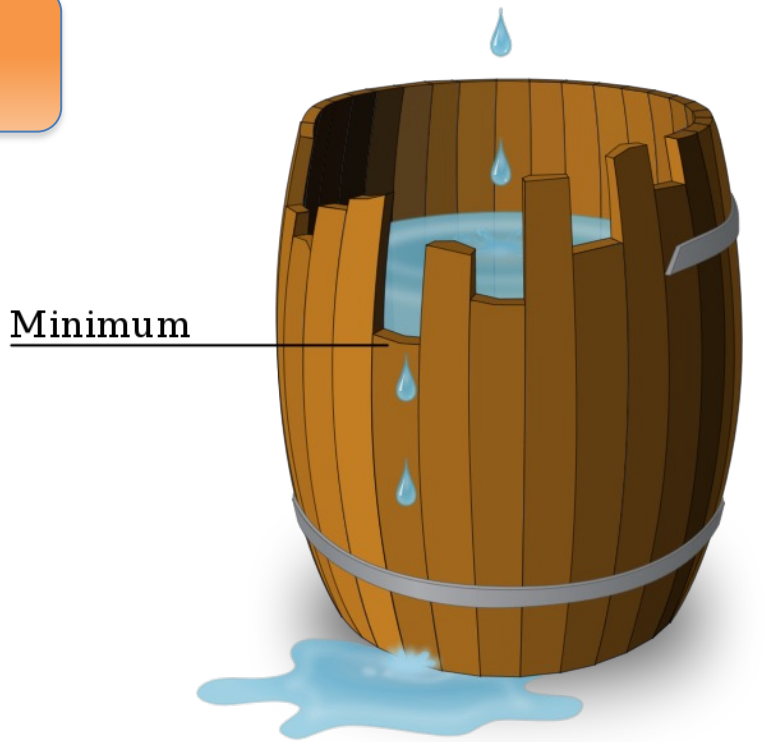
Mangelsymptome erst in älteren Blättern

Mangelsymptome erst in jüngeren Blättern

Mangelerscheinungen

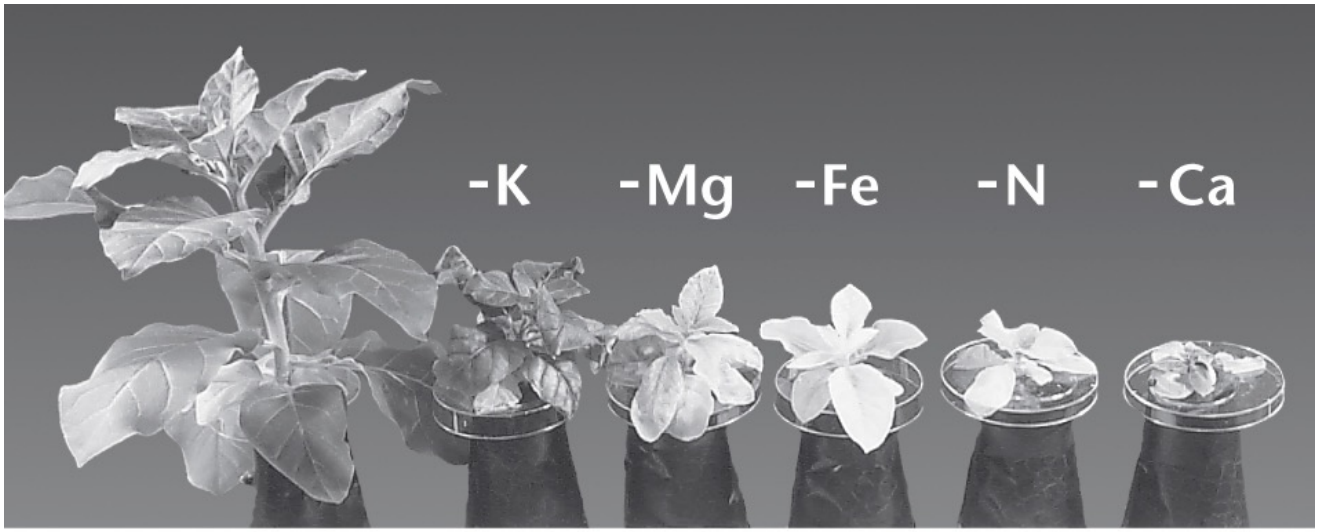
Mangelerscheinungen

<u>Gesetz des Minimums:</u>
Der in der relativ geringsten Menge vorliegende Faktor begrenzt das Wachstum



Der Organismus kann sich nur soweit entwickeln, wie es die knappste Ressource erlaubt.

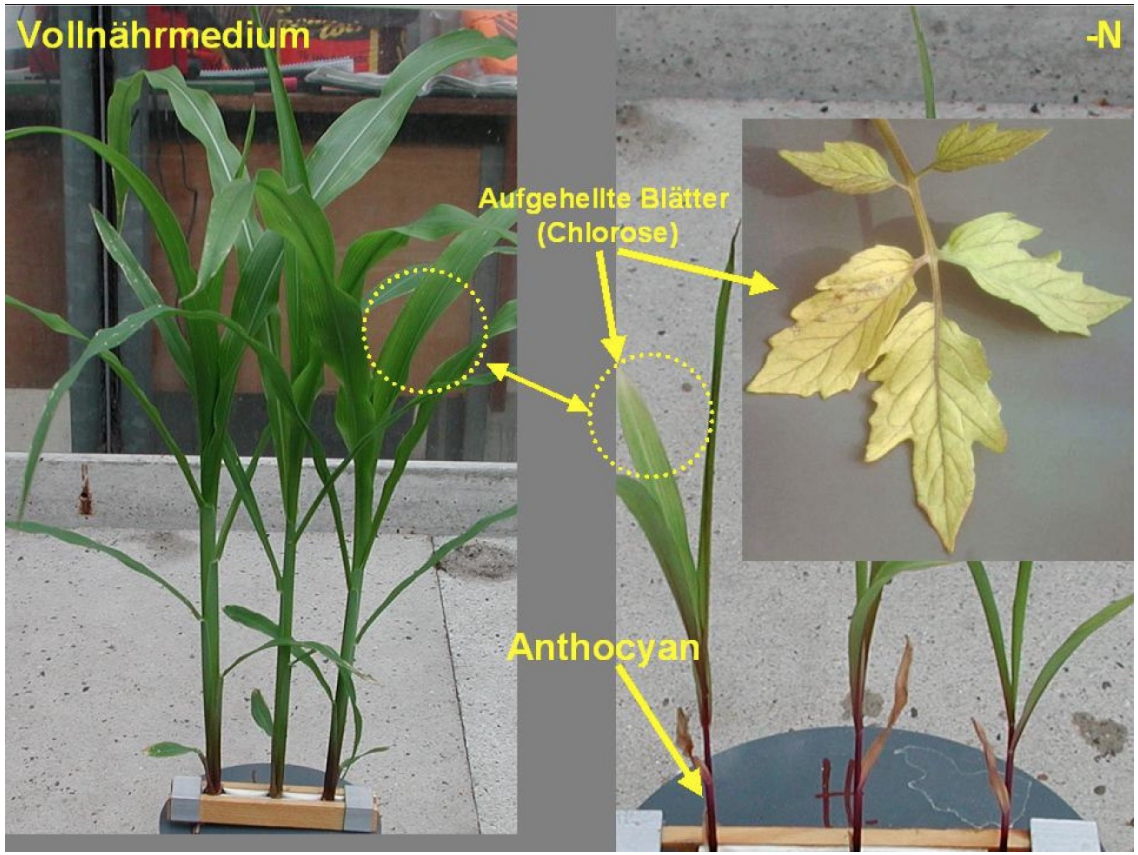
Mangelsymptome im hydroponischen System



Aus: Strasburger, *Lehrbuch der Botanik, 36. Aufl.*
© Spektrum Akademischer Verlag GmbH 2008

- Eingeschränktes Wachstum (über + unter der Erde)
- Chlorosen
- Nekrosen

Stickstoff Mangelsymptome

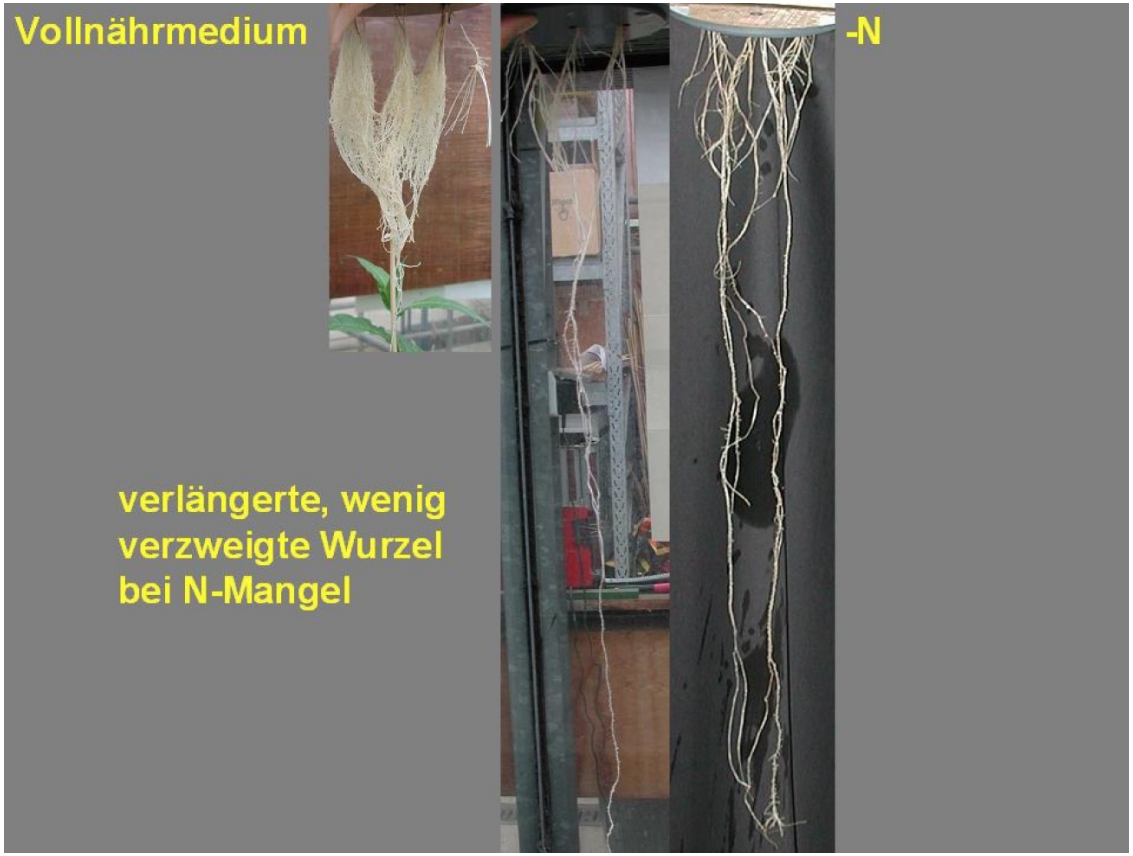


N

ist Bestandteil von:

- Aminosäuren
- Proteinen
- Purinen/ Pyrimidinen
- Nukleinsäuren
- Coenzymen
- Chlorophyll

Stickstoff Mangelsymptome

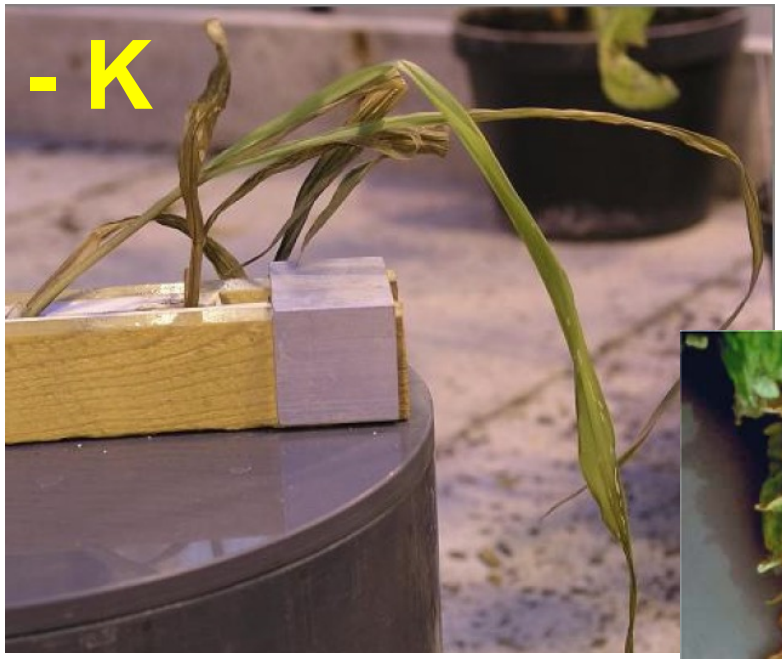


N

ist Bestandteil von:

- Aminosäuren
- Proteinen
- Purinen/ Pyrimidinen
- Nukleinsäuren
- Coenzymen
- Chlorophyll

Kalium Mangelsymptome



Aus: TAIZ, ZEIGER
PLANT PHYSIOLOGY, 4TH EDITION
©Sinauer Associates, Inc., 2006

Welketracht

Nekrosen auf den Blättern/ an den Blattspitzen

K

ist wichtig für:

- osmotischen Druck
- Stomabewegung
- Enzymaktivitäten
- Stärkebildung

Calcium Mangelsymptome

Absterben des jungen meristematischen Gewebes

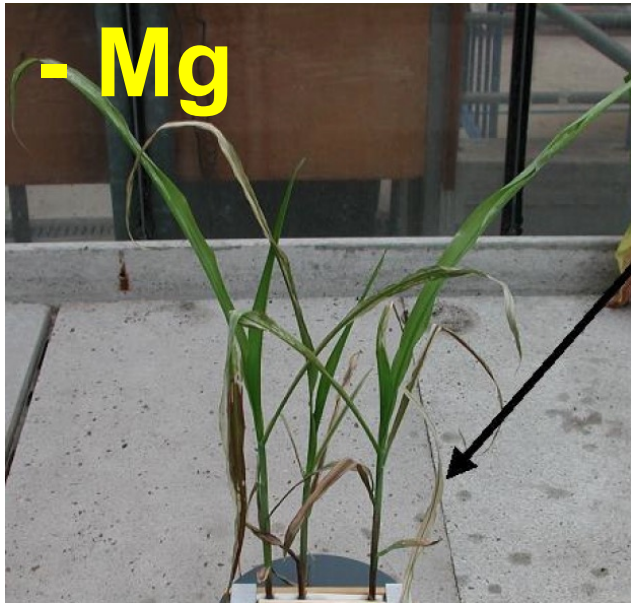
Ausbildung der Mittellamellen gestört

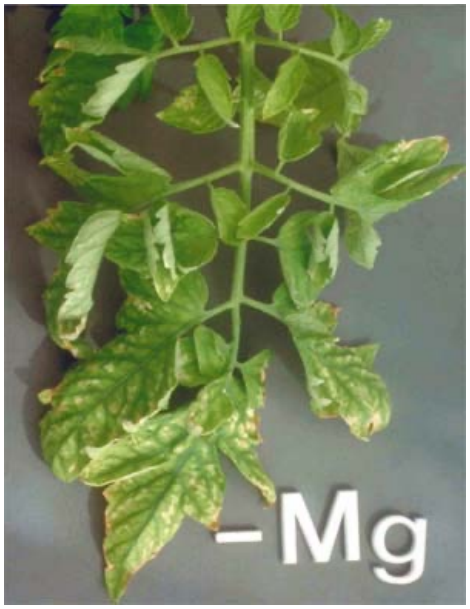
Ca

ist wichtig für:

- Integrität von Membranen
- Signaltransduktion/ Second messenger
- Aufbau von Mittellamellen
- Zellteilung

Magnesium Mangelsymptome





Mg

ist wichtig für:

- Bildung von Chlorophyll
- Enzymaktivierung
- Proteinsynthese

Wellige oder aufgerollte Blätter

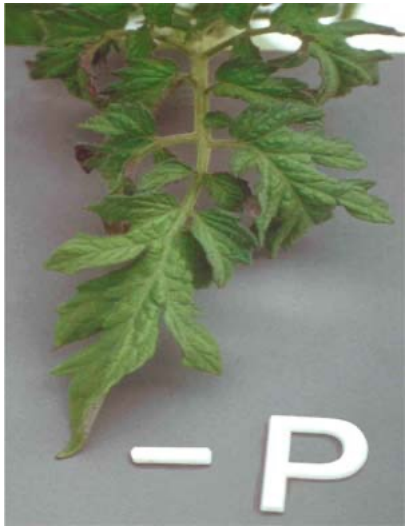
Chlorose zwischen den Blattadern (ältere Blätter, helle Flecken)

Phosphor Mangelsymptome

P

ist Bestandteil von:

- Nukleinsäuren
- Zuckerphosphaten
- ATP
- Phospholipiden
- Membranen
- Coenzymen



Anhäufung von Anthocyanen

Starrtracht

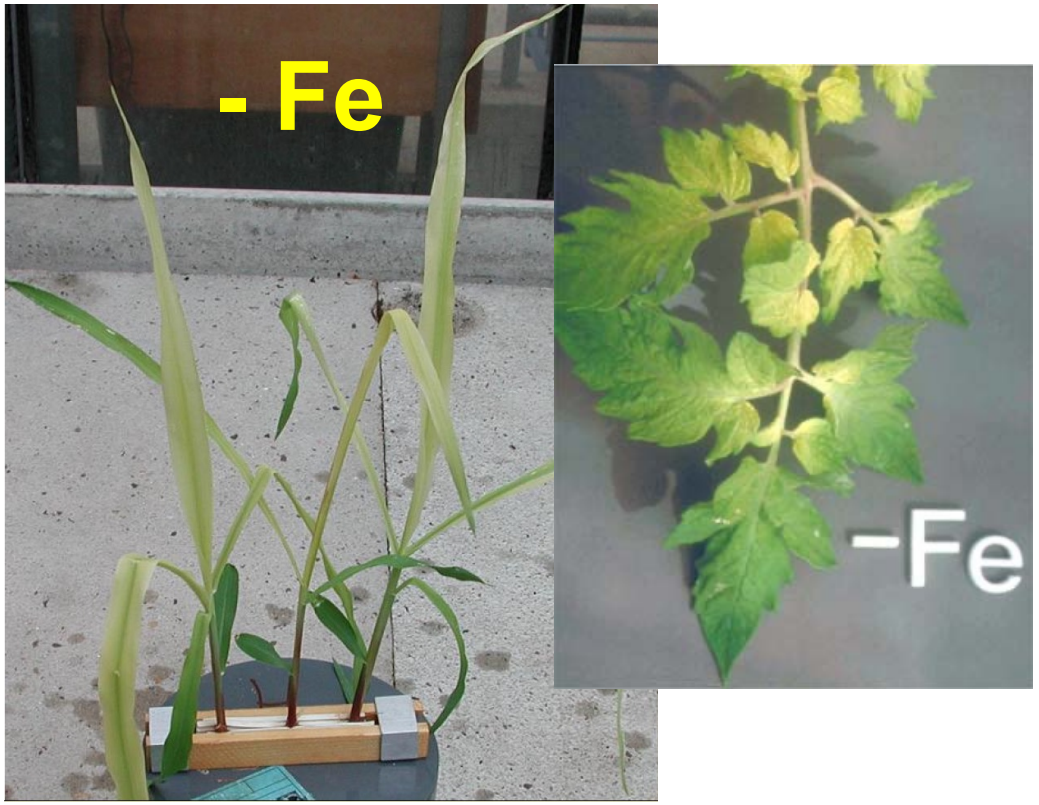
Dunkelgrünes Erscheinungsbild

Eisen Mangelsymptome

Fe

ist wichtig für:

- Chlorophyllsynthese
- Aufbau von Cytochromen
- Aufbau von Ferredoxin
- Cofaktor von z.B. Peroxidasen

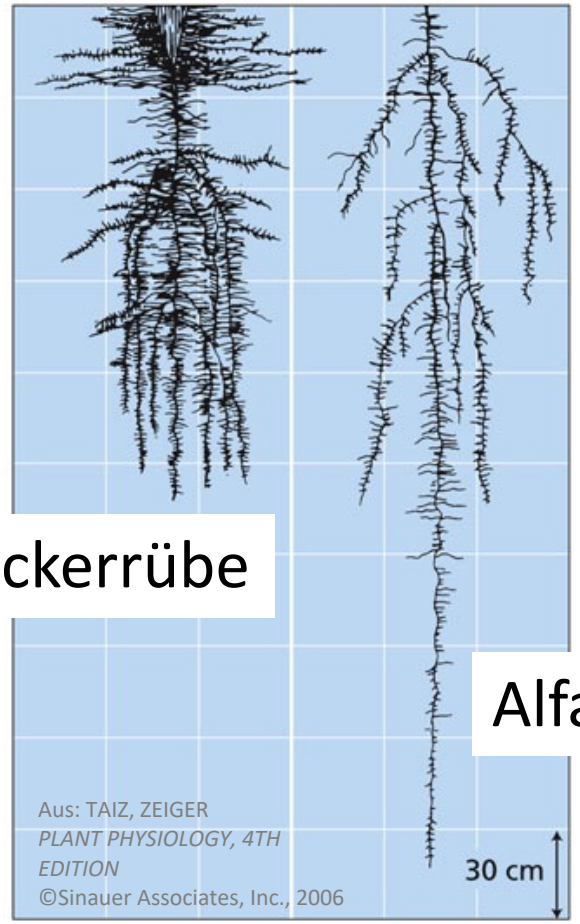


Chlorose jüngerer Blätter

Taiz/ Zeiger Plant Physiology Online Webtopic 5.1

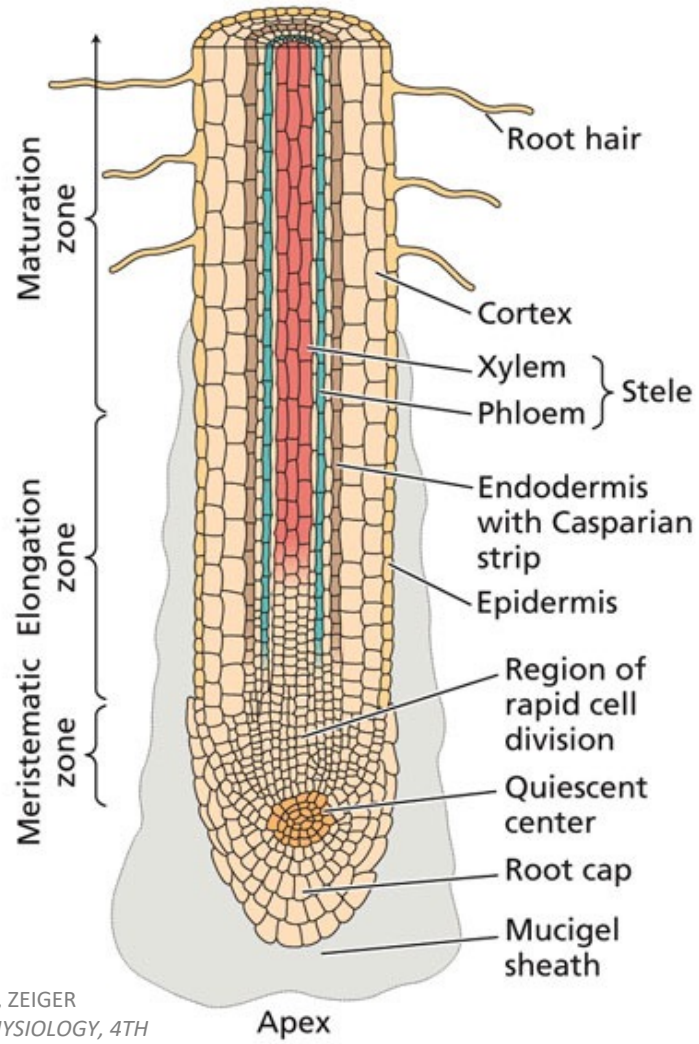
Nährstoffaufnahme

Entwicklung ausgedehnter Wurzelsysteme

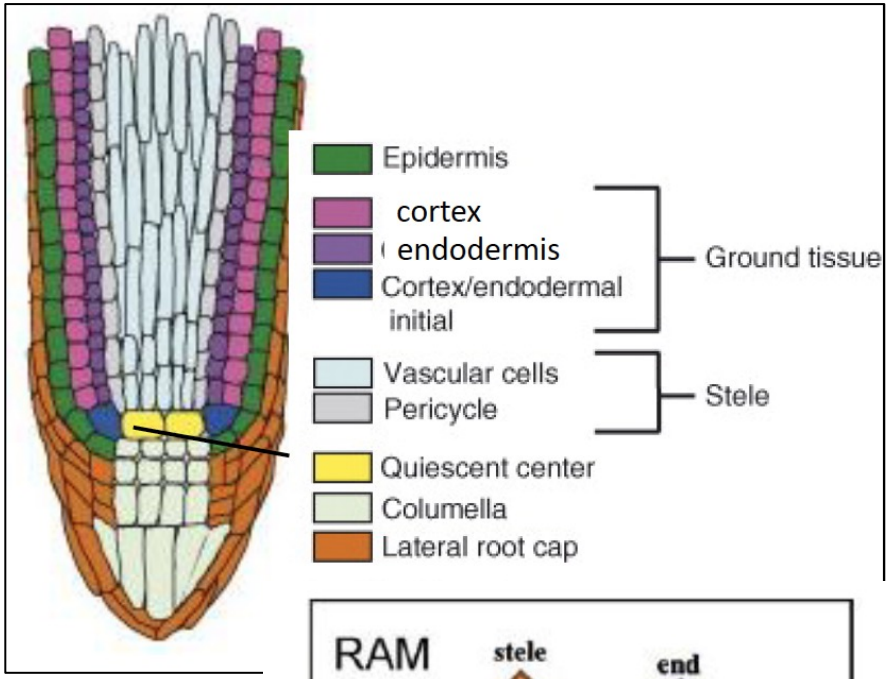


- Wurzelentwicklung findet an den Meristemen statt:
  - Wurzelspitzenmeristem/ -apikalmeristem
  - Seitenwurzelmeristem
- Meristematische Stammzellen teilen sich und geben Zellen ab:
  - nach unten in die Wurzelhaube
  - nach oben in Endodermis, Cortex, Stele und Epidermis

Wurzelmorphologie

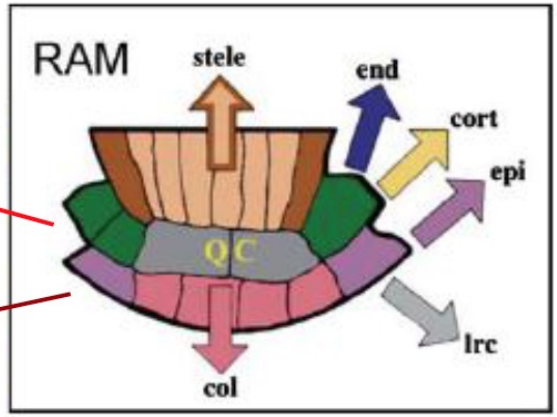


Aus: TAIZ, ZEIGER
PLANT PHYSIOLOGY, 4TH EDITION
©Sinauer Associates, Inc., 2006

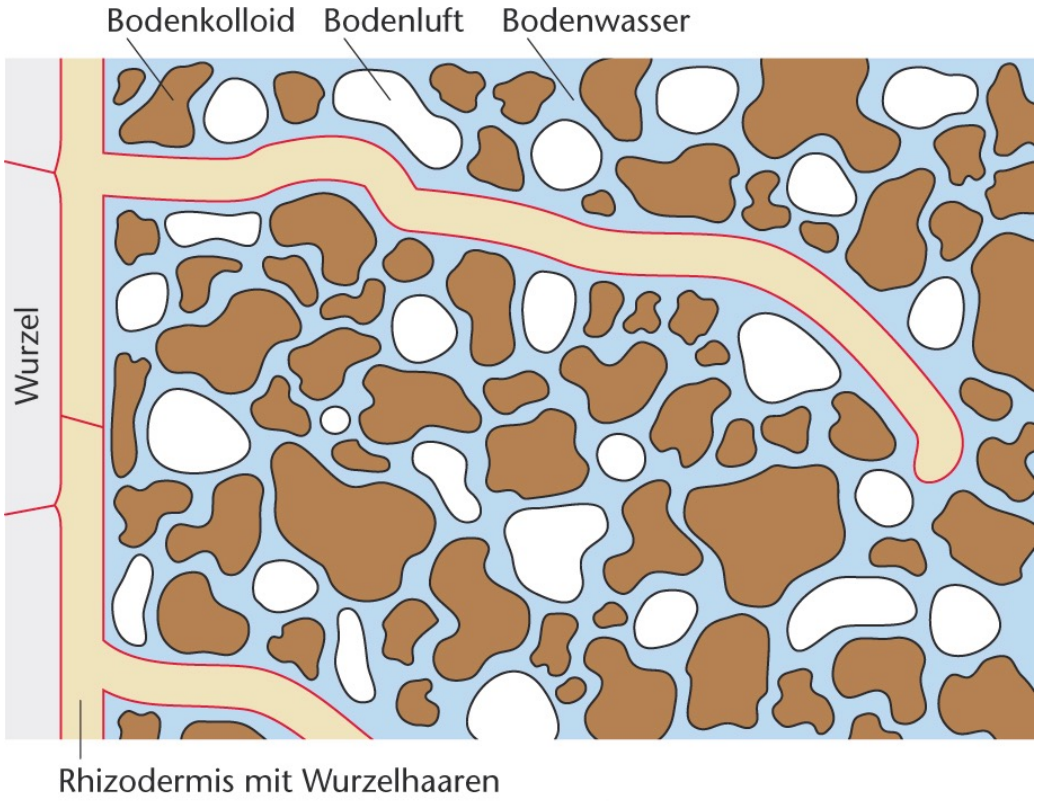


Proximale Stammzellen

Distale Stammzellen



Wie kommt die Wurzel an Mineralstoffe?

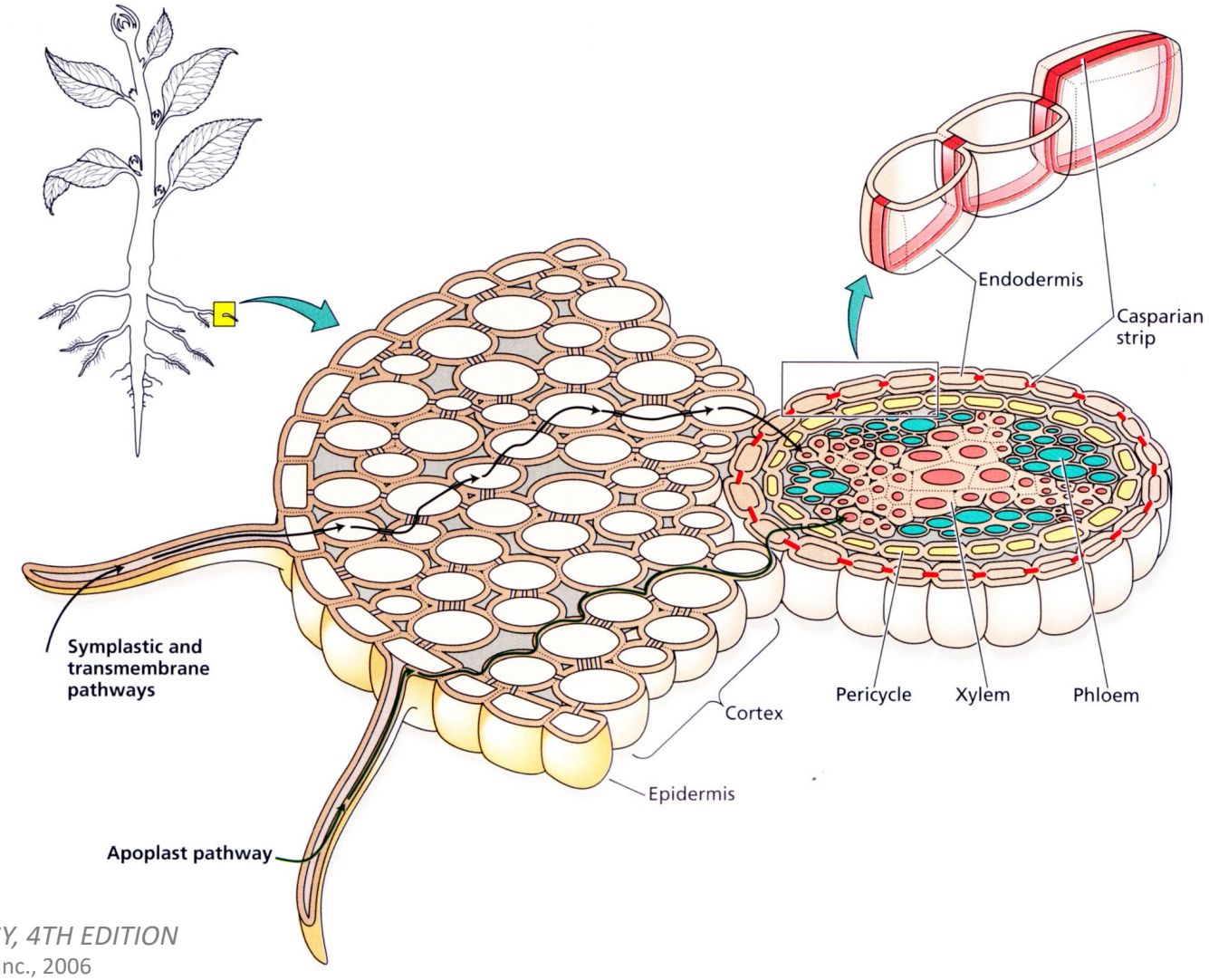


Aus: Strasburger, *Lehrbuch der Botanik, 36. Aufl.*
© Spektrum Akademischer Verlag GmbH 2008

Bewegung von Nähr-Stoffen im Boden

- Massenstrom
- Diffusion

Aufnahme und Transport von Mineralstoffen



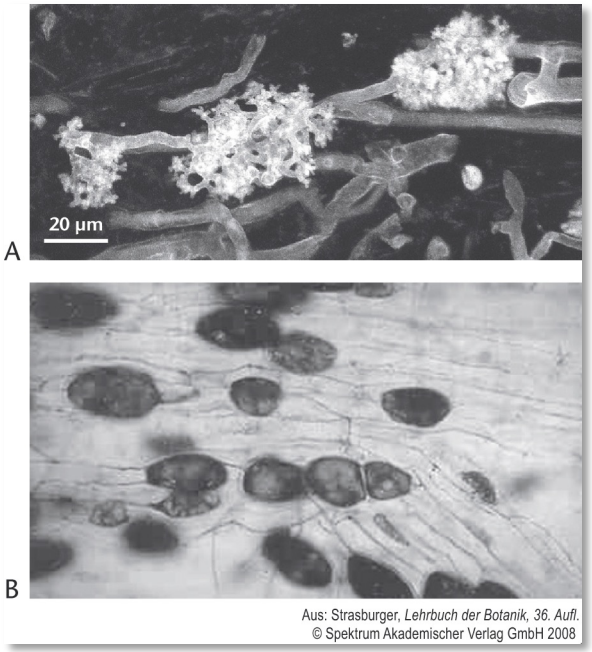
Aus: TAIZ, ZEIGER
PLANT PHYSIOLOGY, 4TH EDITION
©Sinauer Associates, Inc., 2006

Symbiosen unterstützen Pflanzenernährung

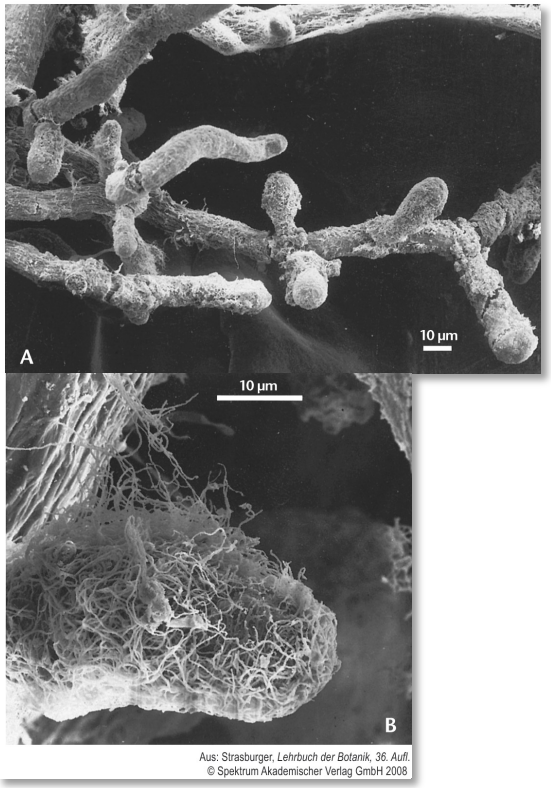
Die Nährstoffaufnahme benötigt oft die Assoziation mit anderen Organismen, die Symbiose!

- Luftstickstofffixierende Symbiosen mit Bakterien
- Mykorrhiza mit Pilzen

Aus: TAIZ, ZEIGER
PLANT PHYSIOLOGY, 4TH EDITION
©Sinauer Associates, Inc., 2006



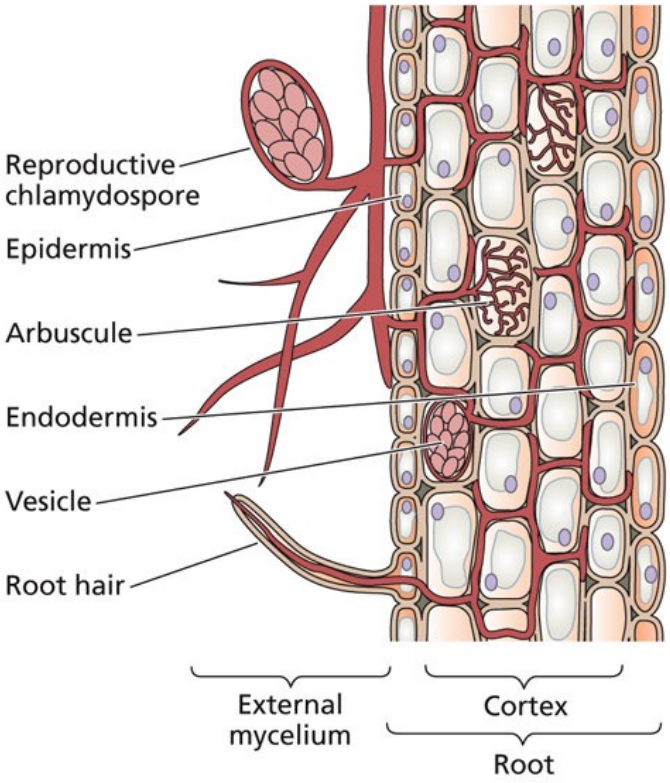
Aus: Strasburger, *Lehrbuch der Botanik, 36. Aufl.*
© Spektrum Akademischer Verlag GmbH 2008



Aus: Strasburger, *Lehrbuch der Botanik, 36. Aufl.*
© Spektrum Akademischer Verlag GmbH 2008

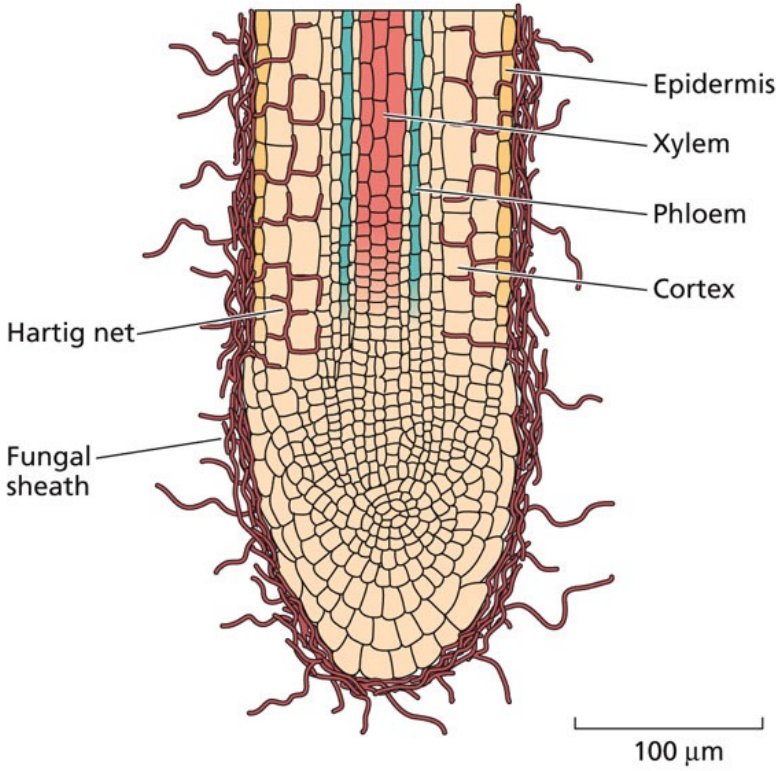
Verschiedene Arten von Mykorrhiza

Vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza



PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 5.11 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

Ektomykorrhiza



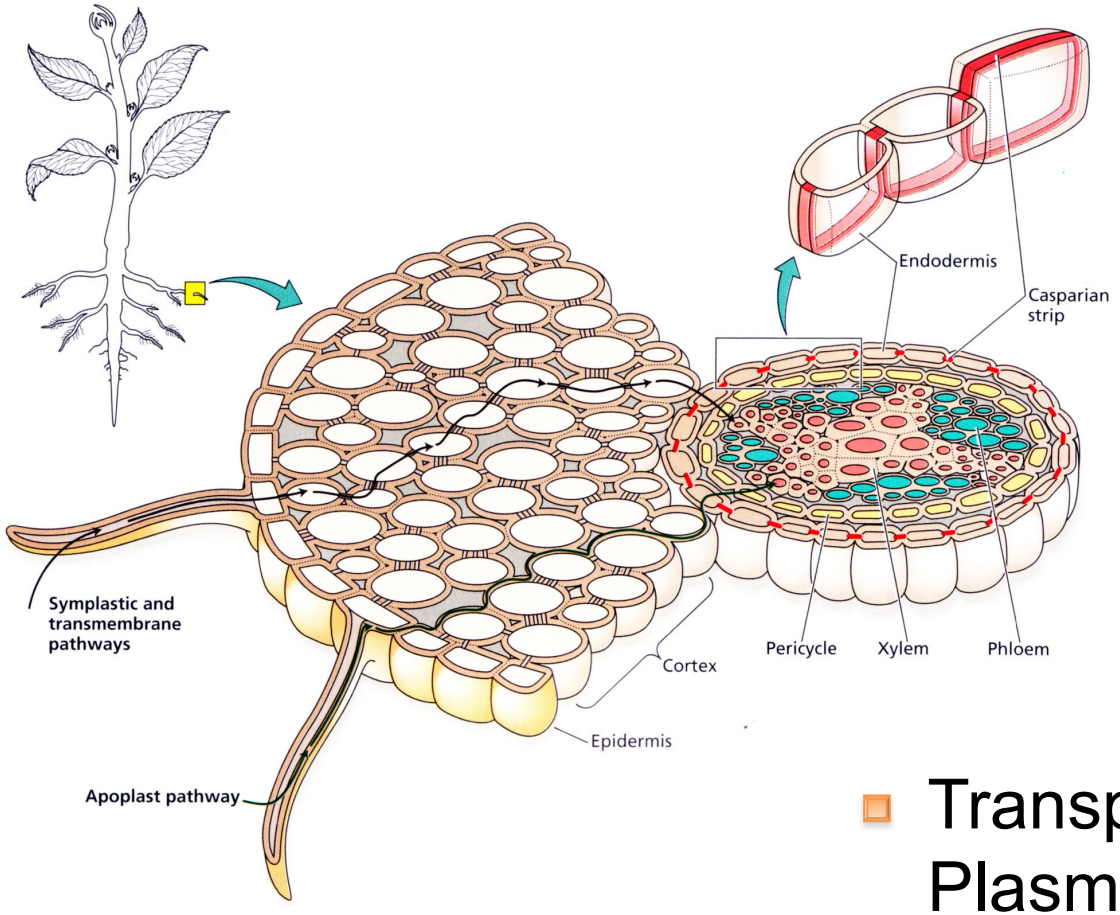
PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 5.10 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

Mykorrhiza – gesteigertes Wachstum

www.thenaturalgardener.co.uk

>80% der Dikotylen
ca. 80% der Monokotylen
100% der Gymnospermen

Aufnahme vom Kalium



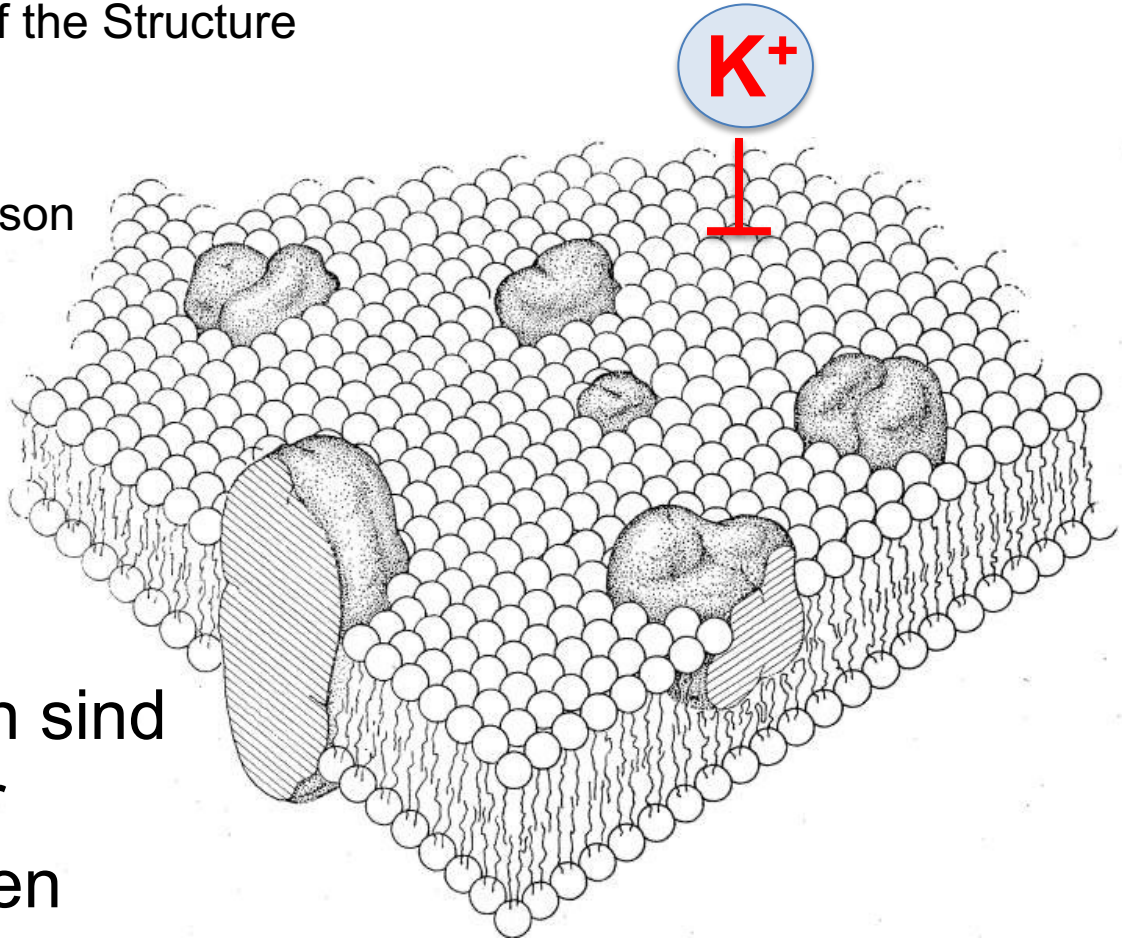
- Transport über die Plasmamembran in die Zelle

Transport von Ionen über Membranen

The Fluid Mosaic Model of the Structure of Cell Membranes

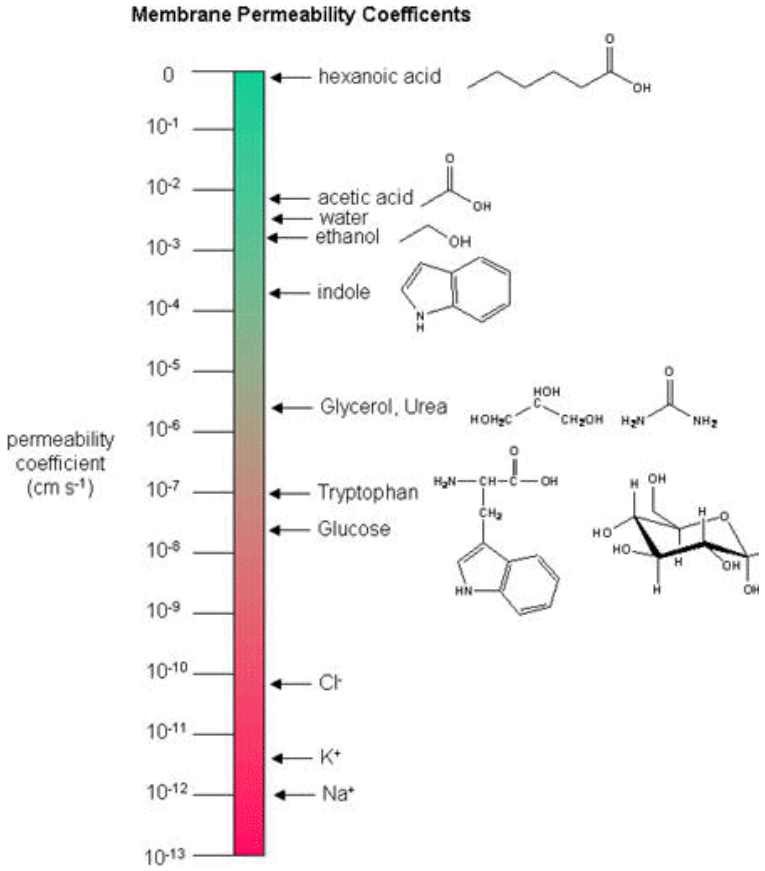
1972

S.J. Singer and G.L. Nicolson
Science 175: 720-731

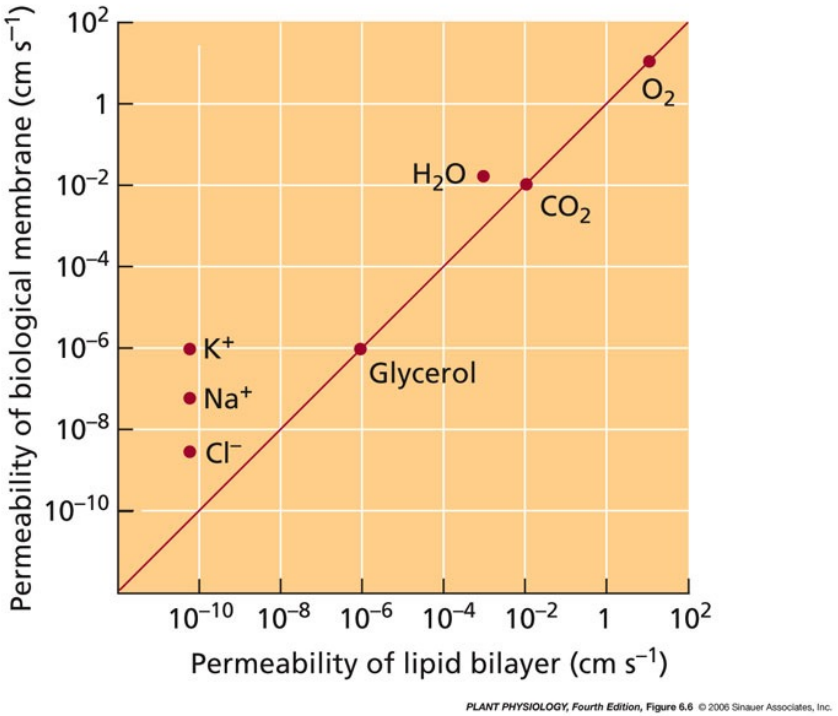


- Lipidmembranen sind impermeabel für geladene Teilchen

Transport von Ionen über Membranen



http://employees.csbsju.edu/hjakubowski/classes/ch331/lipidstruct/permeabilitycoeff.gif



↓

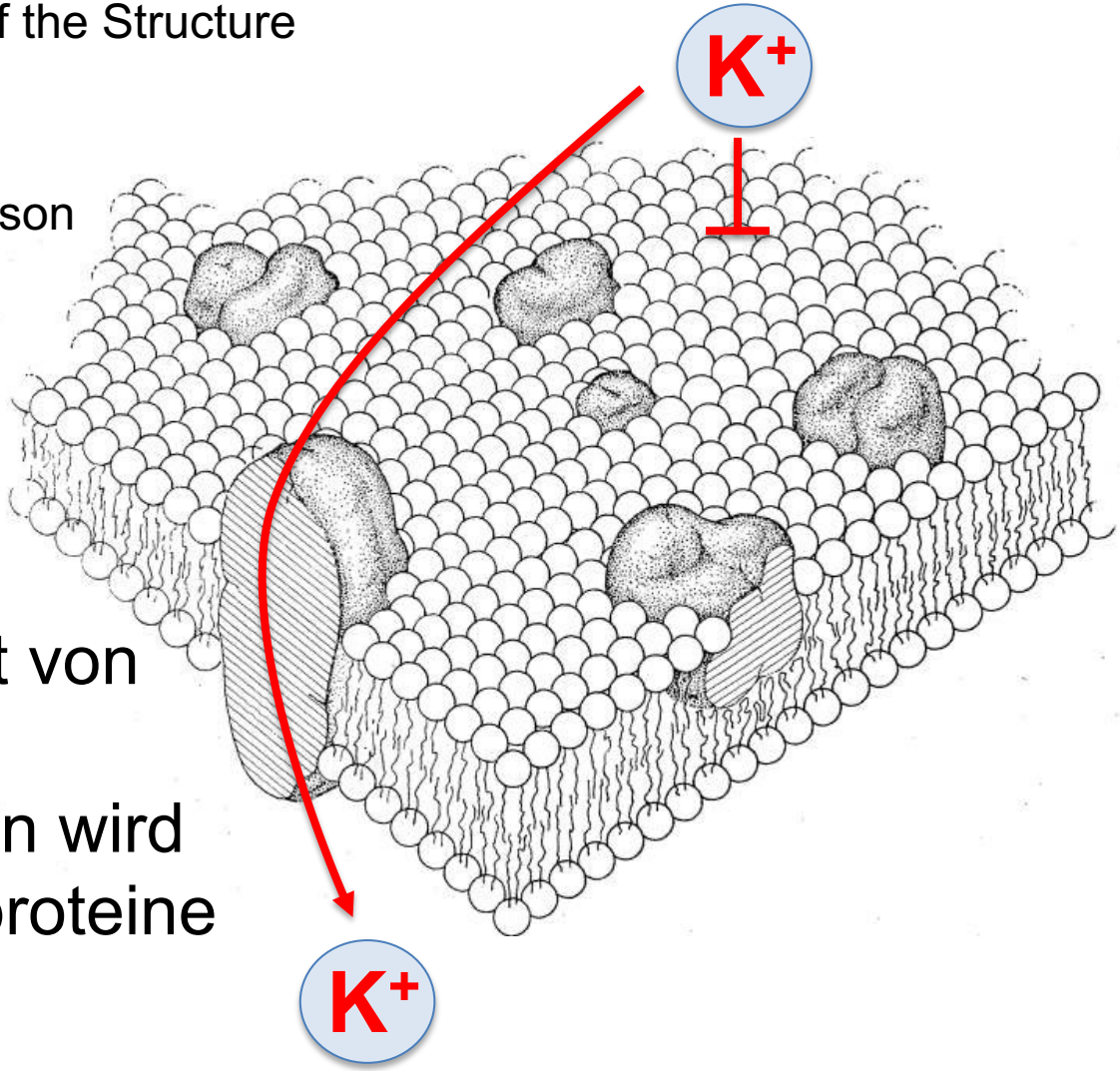
Transportsysteme für Ionen

Transport von Ionen über Membranen

The Fluid Mosaic Model of the Structure of Cell Membranes

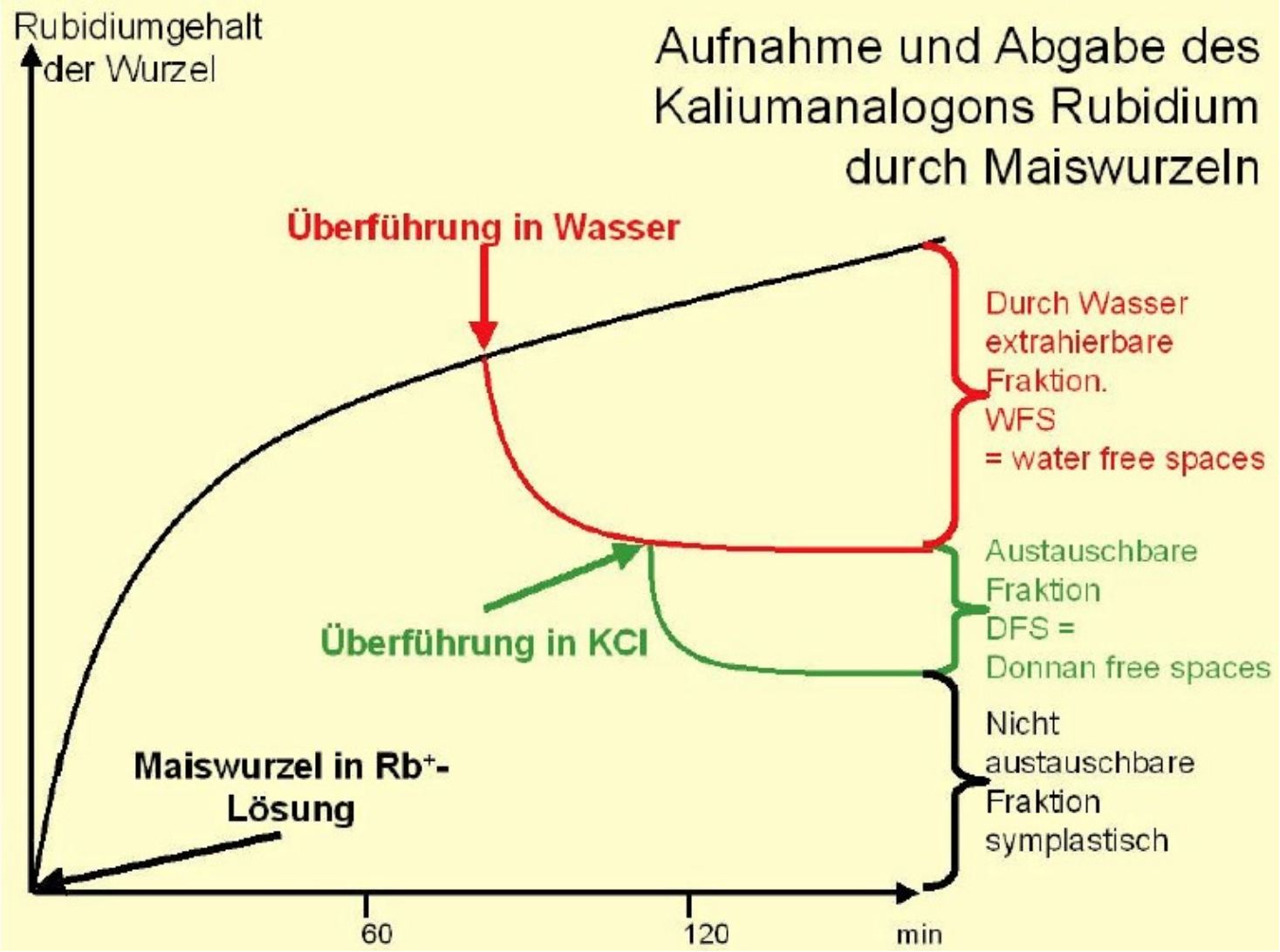
1972

S.J. Singer and G.L. Nicolson
Science 175: 720-731

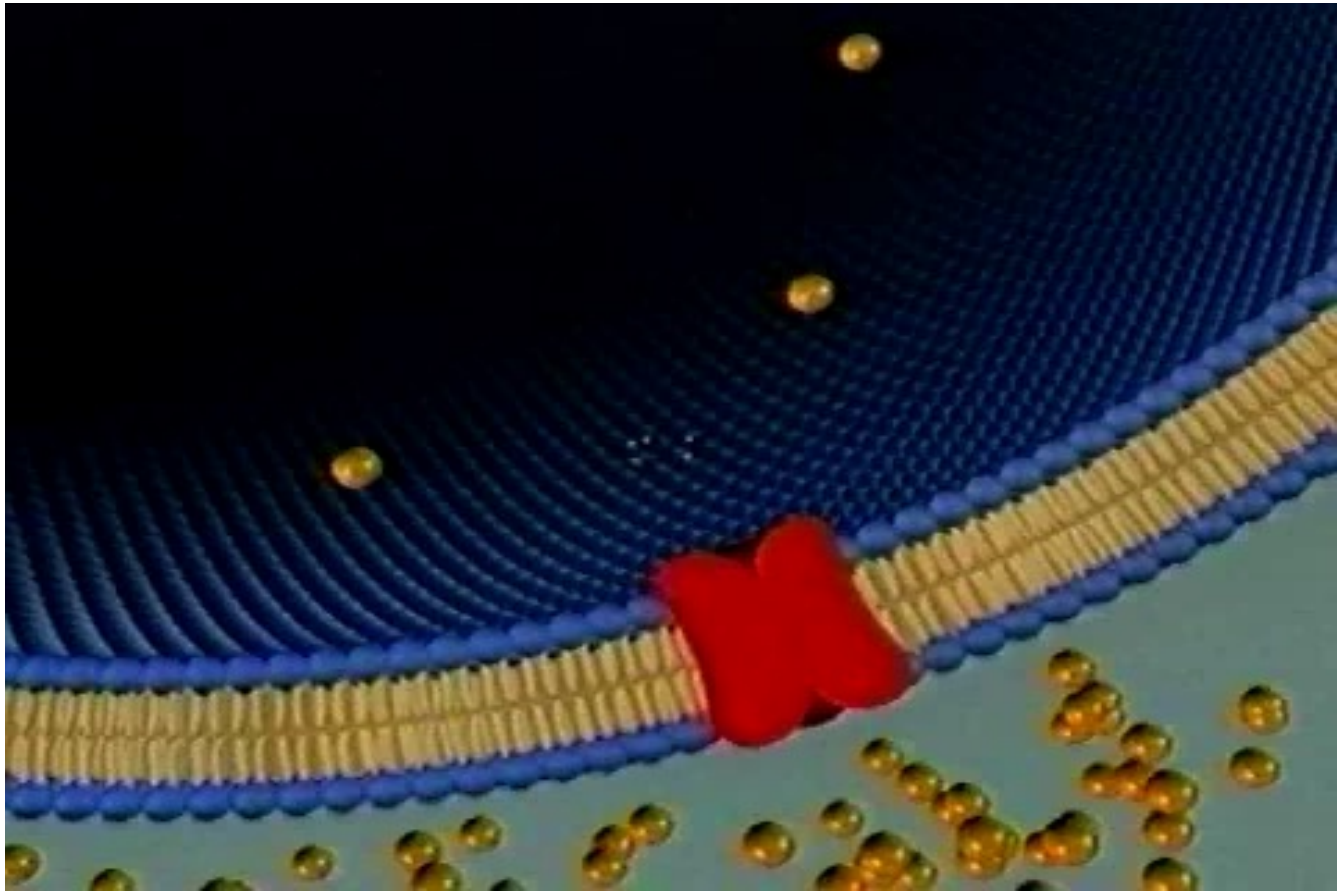


- Die Permeabilität von Membranen für geladene Teilchen wird durch Transportproteine erhöht

Nährstoffverteilung



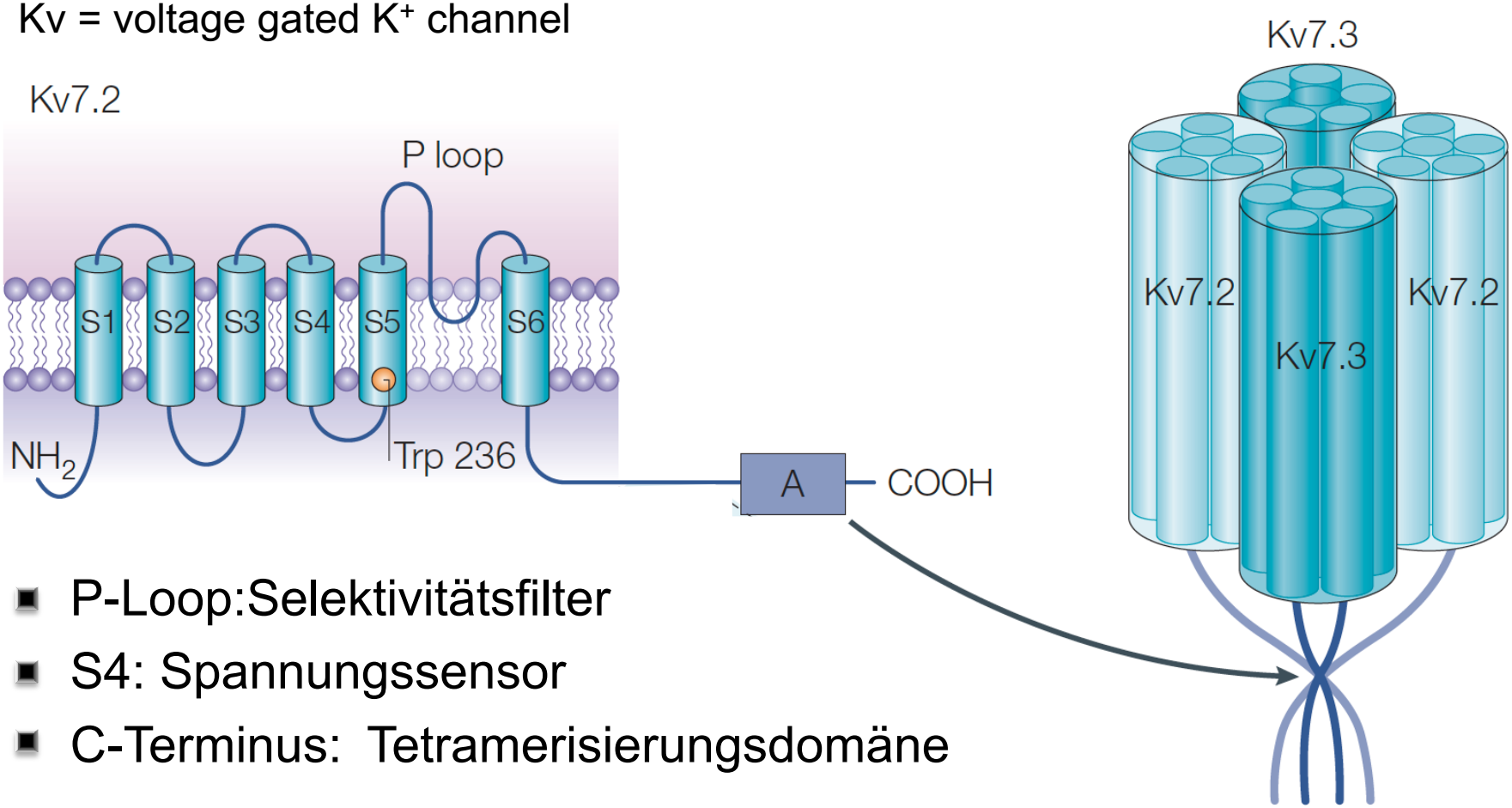
Ionenkanalaktivität



Patch-Clamp-Technik zur Messung der Ionenströme

Kaliumionenkanäle/ K^+-Kanäle

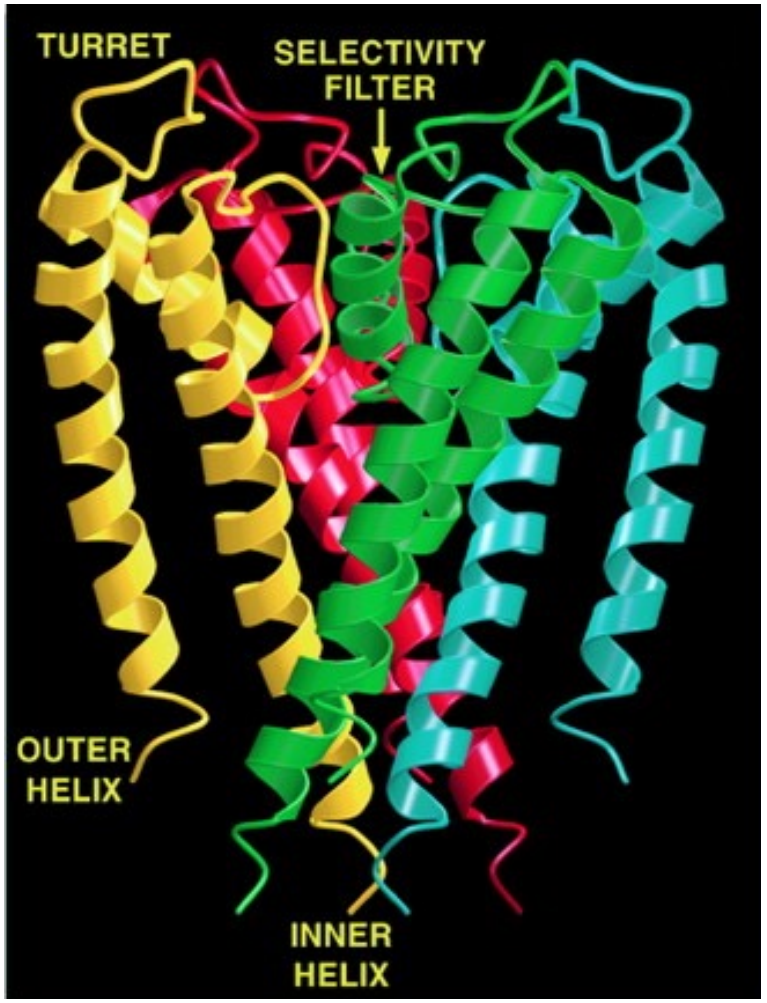
Kv = voltage gated K^+ channel



- P-Loop:Selektivitätsfilter
- S4: Spannungssensor
- C-Terminus: Tetramerisierungsdomäne

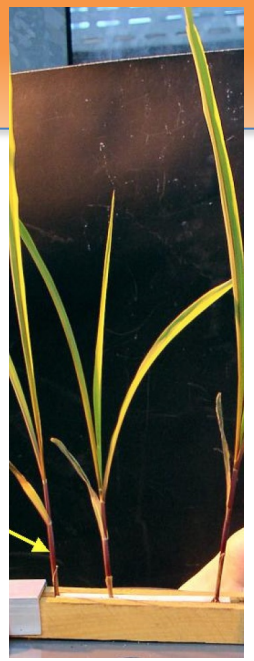
Delmas & Brown / *Nature Reviews Neuroscience* 6 (2005) 850–862

Kaliumionenkanäle/ K^+-Kanäle



Doyle et al. / *Science* (1998) 280, 69-77

Aufnahme von Phosphat



P

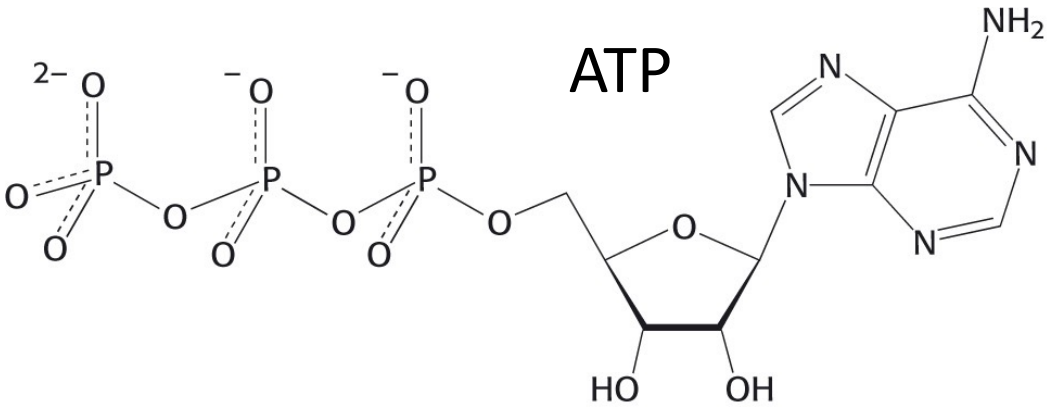
ist Bestandteil von:

- Nukleinsäuren
- Zuckerphosphaten
- ATP
- Phospholipiden
- Membranen
- Coenzymen

- P kommt immer in oxidierter Form PO_4^{3-} vor

↕

Keine Reduktion !!!!!!!!



Aufnahme von Phosphat

Neben N ist Phosphat für die Pflanze die zweite i.d.R. für das Wachstum limitierende Substanz

Es liegt in der Pflanze stets in oxidierter Form vor und zwar entweder als
anorganisches Phosphat *(P_i)*
oder als
organische Phosphatverbindung
(Phosphatester oder Phosphoanhydrid)

Verfügbarkeit von Phosphat

Phosphat ist Mangelware, weil...

- **... es nicht in hohen Konzentrationen löslich ist.**
- **... es leicht an der Oberfläche von Erdkrümeln etc. anbindet (Adsorption).**

Die Konzentration von freiem Phosphat ist in Böden oft kleiner als 1 µM.

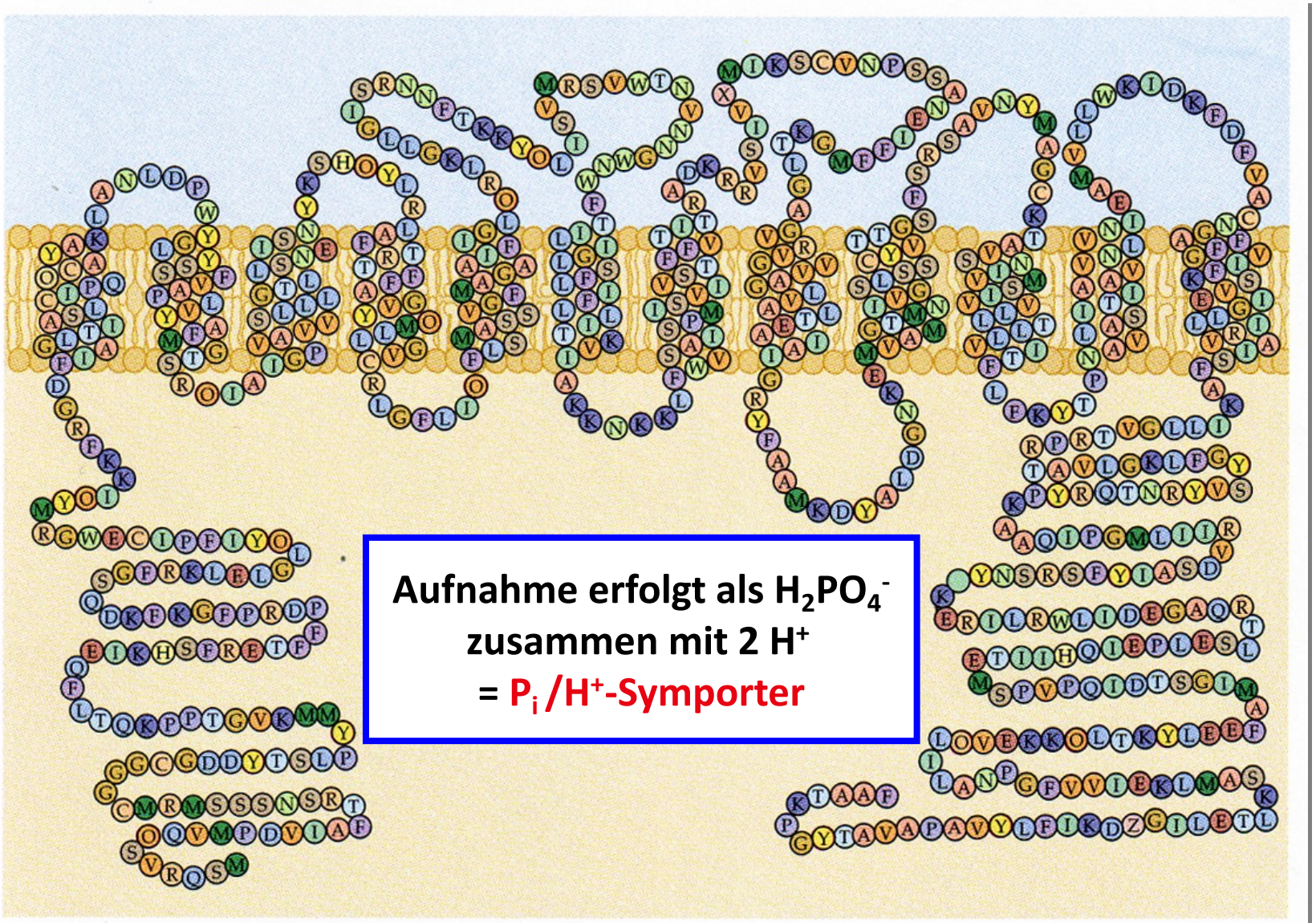
Dieses Phosphat wird meist schnell aus dem unmittelbaren Wurzelraum aufgenommen.

Aufnahme von Phosphat

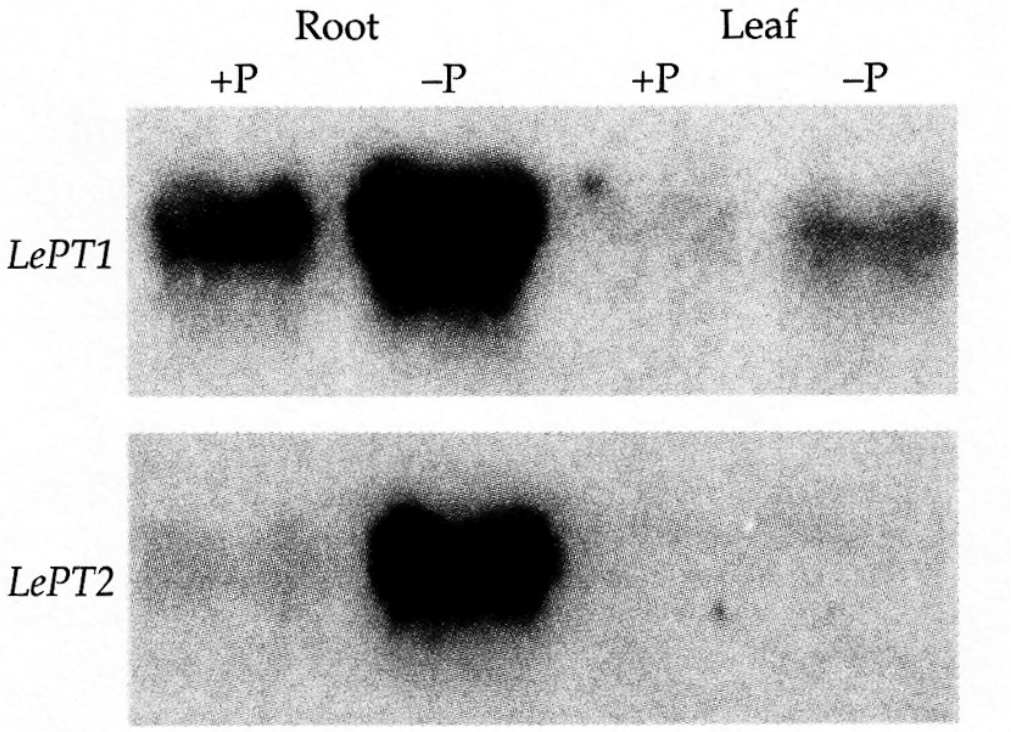
Da die Phosphatkonzentration im Boden meist sehr niedrig (1 µM) und in den Zellen vergleichsweise hoch ist (im mM-Bereich), muss es sich bei der Aufnahme um einen aktiven Prozess handeln.

- **Es kommt bei der Aufnahme zu einer vorübergehenden Depolarisierung.**
- **Die Aufnahme funktioniert bei niedrigerem pH (5 - 6) besser.**
- **Entkoppler von H^+-Gradienten hemmen TP.**

Phosphat-Aufnahmetransporter



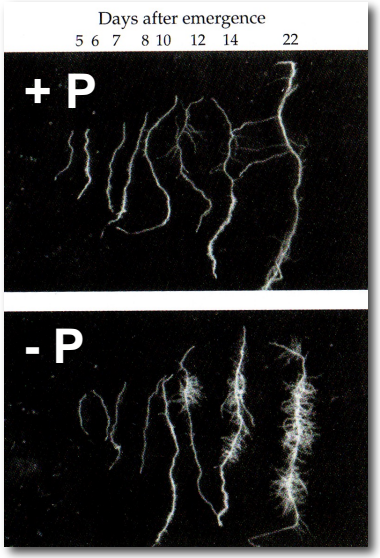
Regulation der Phosphataufnahme



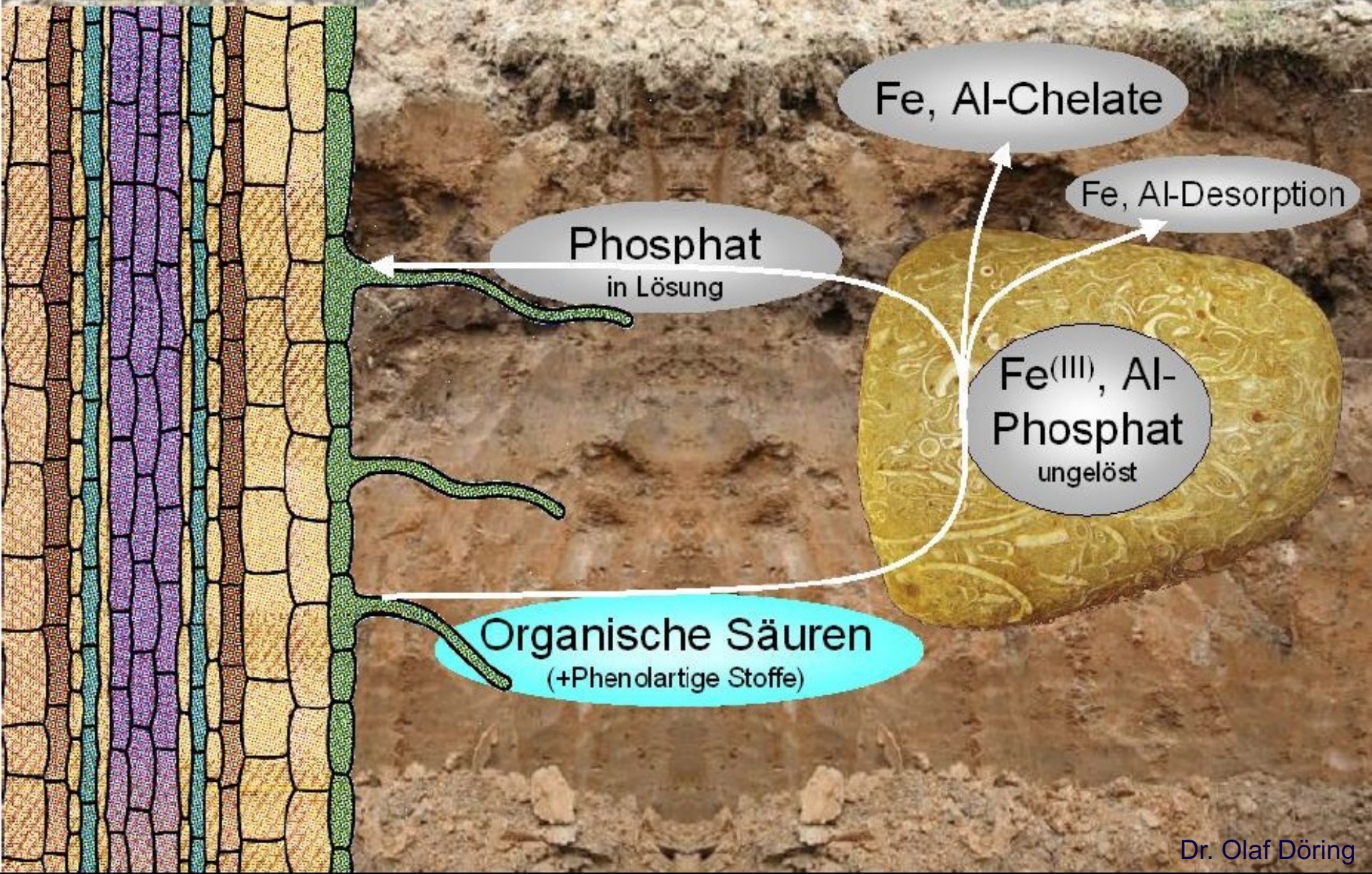
- In Tomaten wird die Aufnahme von Phosphat über zwei „*high-affinity*“ Transporter geregelt, deren Expression stark von der verfügbaren Phosphatmenge abhängig ist.

Reaktionen auf niedrige PO_4^{3-}-Konz.

- **Hochregulation der Expression der Phosphattransporter-Gene**
- **Veränderungen der Wurzelarchitektur/ verstärkte Verzweigungen**
- **Erhöhung der Wurzelhaardichte**
- **Ausscheiden organischer Säuren (anorg. P)**
- **Ausscheiden von Phosphatasen (org. P)**
- **Mykorrhiza mit Bodenpilzen**

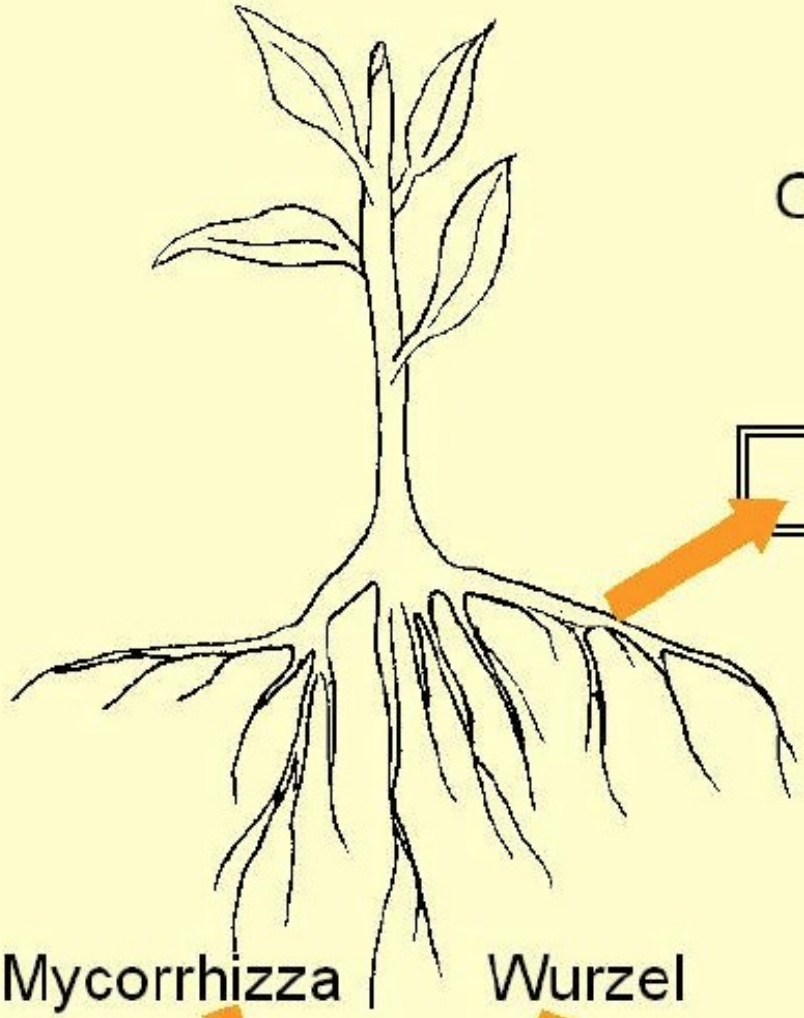


Phosphatfreisetzung aus Bodenpartikeln durch Ausscheidung organischer Säuren



Dr. Olaf Döring

Pflanzenverfügbares Phosphat



Organisch gebundenes Phosphat
20 - 80 % des Gesamt-P

Phosphatasen

Pflanzenverfügbares P in der Bodenlösung (meist < 10 µM)

Mycorrhizza

Wurzel

Organische Säuren
H^+-Sekretion

Desorption von anorganischem Phosphat (P_i) von Bodenpartikeln

Dr. Olaf Döring

Mykorrhiza

- **Bodenpilze gehören zu den größten lebenden Organismen !!!**
- **Bodenpilze haben daher Zugang zu den Phosphatpools riesiger Bodenmengen.**
- **Bodenpilze hängen in ihrem Wachstum sehr von im Boden verfügbarem organischem Material ab.**
- **Phosphat ist für Pflanzen immer Mangelware.**
- **Energie und organischer Kohlenstoff sind für Pflanzen i.d.R. keine Mangelware.**

Mykorrhiza

- **Bekannte Mykorrhiza-Pilze:**

Fichten, Kiefern, Buchen, Eichen

Espen, Birken

verschiedene Nadelbäume

Birken

Fichten, Pappeln, Birken

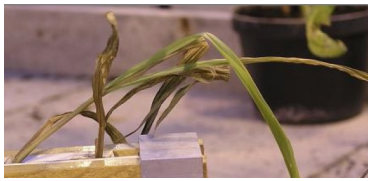
Buchen, Eichen etc.

Vesikuläre arbuskuläre Mykorrhiza

- **Die VAM erhöht die P_i-Versorgung der Pflanze um den Faktor 5 bis 6.**
- **Dabei wird der endogene Phosphattransporter der Pflanze praktisch auf „0“ reduziert.**
- **Der beteiligte Pilz erhält im Gegenzug organischen Kohlenstoff in Form von Zucker (Glukose, Fruktose).**
- **Die entsprechenden Transporter werden vom Pilz nur während der Symbiose genutzt.**

Zusammenfassung

Was sind essentielle Nährstoffe?
Benötigt, Bedeutung für Metabolismus, nicht ersetzbar



Welches sind die essentiellen Nährelemente?
N, K, Ca, Mg, P, S, Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo

Welches sind die hauptsächlichen Mangelsymptome?
Reduziertes Wachstum, Chlorosen, Nekrosen

Wie wird Nährstoffaufnahme unterstützt? Mykorrhiza!

Wie erfolgt die Aufnahme von K?
Kaliumionenkanäle und Kaliumtransporter

Wie erfolgt die Aufnahme von P?
In oxidierter Form als PO_4^{3-}, P_i/ H^+-Symporter